



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

**efzn**

Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen

Eine wissenschaftliche Einrichtung der TU Clausthal

*H.-P. Beck, M. Schmidt (Hrsg.)*

# **Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke**

*Abschlussbericht*

**Goslar, 31.08.11**

Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
Am Stollen 19  
38640 Goslar  
Telefon: +49 5321 3816 8000  
Telefax: +49 5321 3816 8009  
<http://www.efzn.de>

**Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2011 Universitätsbibliothek Clausthal

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.  
Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung unzulässig.

ISBN 978-3-942216-54-8



**Es ist nicht genug,  
zu wissen, man muß auch anwenden;  
es ist nicht genug,  
zu wollen, man muß auch tun.**

(J.-W. Goethe)

## **Wissenschaftliche Leitung**

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck (Projektleiter)  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Busch  
Prof. Dr. Mathias Erlei  
Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld  
Prof. Dr.-Ing. Armin Lohrengel  
apl. Prof. Dr. Karsten Runge  
Prof. Dr. jur. Hartmut Weyer  
PD Dr.-Ing. habil. Uwe Düsterloh

## **Bearbeiter**

Dr. Anne-Kathrin Dimmig  
Dr.-Ing. Wolfgang Lampe  
Dr.-Ing. Aime Mbuy  
Dr.-Ing. Günter Schäfer  
Dr.-Ing. Thomas Wachter  
Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann

Dipl.-Ing. Julita Gorczyk  
M.Sc. Niuscha Jarrah  
Ass. jur. Ulrich Lindemann  
M.Sc. Geogr. Stefanie Leder  
Dipl.-Ing. Sebastian Mahr  
Dipl.-Ing. Lars Meier  
Dipl.-Ing. Nadine Nagler  
Dipl.-Ing. Soroush Nakhaie  
B. Eng. Christoph Neumann  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marko Schmidt (Projektkoordinator)  
M.Sc. Furui Xi

## **Projektkoordination und Ansprechpartner**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marko Schmidt  
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
Am Stollen 19  
38640 Goslar

Telefon: +49 5321 3816 8059  
Telefax: +49 5321 3816 8009

URL: <http://www.pumpspeicher-unter-tage.de>  
Email: [koordinator@pumpspeicher-unter-tage.de](mailto:koordinator@pumpspeicher-unter-tage.de)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 0325074 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den jeweiligen Autoren.

## Übersicht

Vorwort der Herausgeber .....	5
Danksagung .....	7
Kurzfassung für Entscheider .....	8
<i>H.-P. Beck, M. Schmidt</i>	
Geomechanische Aspekte .....	32
<i>U. Düsterloh</i>	
Markscheiderische und bergmännische und Aspekte .....	151
<i>W. Busch, O. Langefeld, W. Lampe, J. Gorczyk, N. Jarrah, S. Mahr, F. Xi</i>	
Maschinentechnische Aspekte .....	278
<i>A. Lohrengel, G. Schäfer, N. Nagler, L. Meier</i>	
Energiesystemtechnische Aspekte .....	335
<i>E.-A. Wehrmann, A. Mbuy, S. Nakhaie</i>	
Juristische Aspekte .....	444
<i>H. Weyer, U. Lindemann</i>	
Aspekte aus Umweltsicht .....	634
<i>K. Runge, T. Wachter</i>	
Wirtschaftswissenschaftliche Aspekte .....	743
<i>M. Erlei, A.-K. Dimmig, C. Neumann</i>	

## Vorwort der Herausgeber

Liebe Leserinnen und Leser,

eine der immer wiederkehrenden großen Herausforderungen der Menschheit ist die Lösung des Energieproblems: *Energie zur richtigen Zeit in der richtigen Menge am richtigen Ort.*

Wir stehen nicht zum ersten Mal vor diesem Problem: Seit mehreren hundert Jahren ist für die Bergleute im Harz die Energie des Wassers gleichsam Fluch und Segen. Mit seiner Kraft wurden Pumpen und Fahrkünste angetrieben, um das erschotene Wasser aus den Gruben zu heben. Zeiten längerer Trockenheit, in denen die Pumpen nicht betrieben werden konnten, waren ebenso gefürchtet wie Wassereinbrüche in die Gruben. In beiden Fällen stand der Bergbau still und die Bergleute und ihre Familien waren ohne Lohn und Brot. Mit dieser Herausforderung konfrontiert, haben sie im Laufe der Jahrhunderte ein ausgeklügeltes über- und untertägiges System geschaffen, mit der sie die Energie des Wassers entsprechend der damaligen technischen Möglichkeiten *optimal am benötigten Ort zur benötigten Zeit in der benötigten Menge* nutzen konnten. Sowohl das im Oberharz noch heute sichtbare Teich- und Grabensystem, aber auch das der Öffentlichkeit nur in Einzelfällen zugängliche untertägige System des UNESCO-Weltkulturerbes Oberharzer Wasserwirtschaftssystems zeugt noch heute von dieser umweltfreundlichen Energienutzung. Der Mathematiker Leibniz ging noch einen Schritt weiter: Er schlug eine Art Pumpspeichersystem vor, bei dem mit Hilfe der Windkraft das Wasser wieder in ein höher gelegenes Staubecken gehoben werden sollte. Die Realisierung scheiterte damals an den mangelnden wissenschaftlichen Kenntnissen und technischen Möglichkeiten.

Auch heute stehen wir wieder vor einer ähnlichen Herausforderung. Unsere elektrische Energie soll nachhaltig aus erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne gewonnen werden. Aber was ist in Zeiten, in denen die Sonne nicht scheint und der Wind nicht weht? Sollen dann die Lichter ausgehen? Sicherlich nicht. Gerade dafür brauchen wir *Energie-Speicher – zur richtigen Zeit in der richtigen Größe am richtigen Ort.* Wir als Forscher arbeiten an verschiedenen Lösungsoptionen. Als Beispiel seien Batterien, Druckluft, Wasserstoff, Biomethan oder auch das Wasser genannt. Wir möchten mit unserem Vorschlag das künftige Speicher-Portfolio um die Option „Pumpspeicherwerk unter Tage“ ergänzen.

Aber Bergbau betreiben wir seit mehr als 1000 Jahren, auch Pumpspeicherwerke gibt es bereits seit 100 Jahren – was sollte an einer so „altbackenen“ Technologie neu und innovativ sein...? Sicherlich sind in den einzelnen Projektteilen für sich allein genommen keine größeren Innovationen zu erwarten, aber die Kombination aller Teile ergibt den entscheidenden Mehrwert, ein innovatives Pumpspeicherwerk unter Tage. Gerade deshalb können und müssen die gestandenen und die jungen Wissenschaftler gemeinsam im Team transdisziplinär forschen und arbeiten. Leider ist es in der Wissenschaft (noch) nicht normal, dass Berg- und Kaufleute, Maschinenbauer, Elektrotechniker, Juristen, Markscheider ... im Sinne der Sache so eng zusammenarbeiten. Natürlich hat dies nicht immer reibungslos funktioniert und auch wir als Projektleiter bzw. -koordinator haben viel aus den einzelnen Disziplinen, aber insbesondere für die Leitung und für die Zusammenarbeit in einem transdisziplinären Projekt gelernt, wofür wir den Beteiligten dankbar sind. Auch hier geht es darum - um auf die eingangs gestellte These zurück zu kommen - *die richtigen Menschen zur richtigen Zeit am richtigen Ort* wie unserem Energie-Forschungszentrum Niedersachsen in Goslar zusammen zu bringen.

Noch ist ein komplett untertägiges Pumpspeicherwerk nur eine Idee – allerdings eine sehr konkrete. Die Initiative Zukunft Harz, eine gemeinsame Initiative der Landkreise Goslar und Osterode, hat das Projekt als eines von 16 Leitprojekten für die Zukunft des Harzes ausgewählt. Gemeinsam teilen wir die Vision, dass das erste untertägige Pumpspeicherwerk als Pilotanlage noch vor 2019 im Harz ans Netz geht. Daran arbeiten wir, indem wir jetzt die Menschen aus der Region, der Energiewirtschaft, den Behörden und der Politik mit dem Ziel zusammen bringen, gemeinsam ein solches Projekt erstmals im Harz zu realisieren. Angesichts des geschätzten Investitionsvolumens von 150 bis 200 Millionen Euro ist dies sicher keine kleine Aufgabe, für die verschiedene Kompetenzen gebündelt werden müssen. Dafür sind große und kleine Unternehmen, regional und international tätige Partner gefragt, die ihre Kompetenzen aus der Region, ihre Erfahrungen mit Erneuerbaren Energien, aus dem Betrieb von Pumpspeicherwerken und aus der Energiewirtschaft gemeinsam mit dem dafür notwendigen Kapital einbringen.

Nach der Erfindung der Fahrkunst und des Drahtseils im Harz ist ein untertägiges Pumpspeicherwerk die Chance auf neue Wirtschaftskraft. Die Realisation kann aber nur gelingen, wenn wir alle gemeinsam den „Gewinnungs-Bergbau“ des letzten Jahrtausends in einen nachhaltigen „Energie-Bergbau“ von heute transformieren. Auf diese Weise möchten wir einen kleinen Beitrag zur Lösung des eingangs aufgezeigten Energieproblems leisten, um *Energie zur richtigen Zeit in der richtigen Menge am richtigen Ort* anbieten zu können.

In diesem Sinne wünschen wir Ihnen viel Freude beim Studium des vorliegenden Berichts und verbleiben mit freundlichen Grüßen und einem h(a)rzlichen Glückauf

*gez. Hans-Peter Beck*

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck  
Projektleiter

*gez. Marko Schmidt*

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marko Schmidt  
Projektkoordinator

## Danksagung

Nur durch die persönliche Unterstützung vieler Menschen in den Behörden, Unternehmen und Einrichtungen, die uns mit Rat und Tat zur Seite standen, konnte das Projekt gelingen. Ihnen sind wir zu Dank verpflichtet. Auch wenn an dieser Stelle der Platz nicht für alle ausreicht, denen wir danken möchten, seien stellvertretend genannt:

An erster Stelle gilt unser Dank dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dem Projektträger Jülich für die Förderung, Begleitung und Unterstützung des Projekts.

Danken möchten wir weiterhin unseren Verbundprojektpartnern, dem regionalen Energieversorger Harz Energie GmbH & Co KG, dem Wasserkraftwerksausrüster Voith Hydro GmbH & Co. KG sowie dem Schachtbauunternehmen Deilmann-Haniel Shaft Sinking GmbH. Ebenso ist an dieser Stelle dem Bergarchiv Clausthal und dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie für seine Hilfestellungen und Mitwirkung zu danken.

Die Unternehmen Bergbau Goslar GmbH und Wismut GmbH stellten uns die für die Untersuchung der beiden Modellbergwerke notwendigen Risswerke, Daten und Informationen zur Verfügung und standen uns bei Fragen mit Rat und Tat Seite. Dafür danken wir Ihnen herzlich.

Danken möchten wir weiterhin der Multimediaabteilung des Rechenzentrums der TU Clausthal für die filmische Begleitung des Projekts.

Die Idee zum Projekt entstand in einer kleinen Runde von Personen, die sich immer wieder zum Thema untertägige Wasserkraft im Harz austauschten. Daher gilt Herrn Hölzl vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Dr. Lampe vom Bergarchiv Clausthal und dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Dr. Schmidt und Herrn Schicketanz von der Harz Energie GmbH & Co. KG, Herrn Zimmer vom Rechenzentrum der TU Clausthal und Herrn Schmidt vom Energie-Forschungszentrum Niedersachsen für die teilweise auch schwierigen Bemühungen um das Thema unser Dank.

Ein ganz besonderer Dank gilt dem zwischenzeitlich verstorbenen Prof. Dietz†, der das Projekt in der Skizzen- und Antragsphase sehr unterstützte.

*H.-P. Beck, M. Schmidt*

## Kurzfassung für Entscheider



*Foto: EFZN / M. Schmidt*



## Über die Herausgeber

**Hans-Peter Beck** wurde 1947 in Ehmten/ Wolfsburg geboren und absolvierte von 1964-1968 eine Lehre als Starkstromelektriker. Von 1969-1972 schloss sich ein Studium an der Fachhochschule Wolfenbüttel und von 1972-1976 ein Aufbaustudium der Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin an. Danach von 1977-1981 folgte eine Tätigkeit als Entwicklungsingenieur im Forschungsinstitut Berlin der AEG AG im Rahmen einer Promotion, die an der Technischen Universität Berlin abgelegt wurde. Nach einer Funktion als Leiter des Laboratoriums „Neuartige Energiesysteme“ (1982-1984) und der Abteilung „Entwicklung Triebfahrzeuge“ im AEG Geschäftsbereich Bahntechnik erfolgte 1989 eine Berufung zum Universitäts-Professor für „Grundlagen der Elektrotechnik und Elektrische Energietechnik“ an der Technischen Universität Clausthal (TUC). Ab Oktober 1989 begann die heute noch andauernde Leitungsfunktion als Direktor des Institutes für Elektrische Energietechnik. Von 1994-1998 lief parallel die Dekan-/Prodekan-Funktion im Fachbereich Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Chemie der TUC, woran sich von 1999-2009 die Prorektor-/Vizepräsident-Funktion für Forschung und Hochschulentwicklung an derselben Universität anschließt. Im Jahr 2008 kam zusätzlich die Position als Vorsitzender des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen (EFZN) hinzu.

Seine Lehrtätigkeit umfasst derzeit die Gebiete Grundlagen der Elektrotechnik, Elektrische Energietechnik, Energiesysteme, Energieelektronik und Regelung elektrischer Antriebe. Die Forschungsschwerpunkte Elektrische Umrichterantriebe großer Leistung, Regelung von elektrischen Hochleistungsantrieben (Windgeneratoren, Walzwerkantrieben, Mühlen, Bahnantriebe), Energieelektronische Geräte zur Energiekonditionierung sowie deren Simulationstechnik spiegeln sich in 187 (Stand 7/2011) Veröffentlichungen und Buchbeiträgen zu o. a. Themen sowie 40 Patenten/ Patentanmeldungen wider ([www.ief.tu-clausthal.de](http://www.ief.tu-clausthal.de)).

Zahlreiche Vorträge auf nationalen und internationalen Tagungen, Mitgliedschaften in Fachausschüssen sowie eine entsprechende Gutachtertätigkeit unter anderen für die Deutsche Forschungsgemeinschaft als gewählter Fachgutachter für Energieanwendungen runden das Arbeitsgebiet ab.

**Marko Schmidt** wurde 1973 in Heilbad Heiligenstadt geboren. Nach der Erlangung der mittleren Reife wechselte er für das Abitur an das Berufliche Gymnasium in Witzenhausen mit dem Schwerpunkt Elektrotechnik. Seinen Zivildienst leistete er im Bergkloster Heiligenstadt. Danach war er einige Zeit im Elektrohandwerk tätig, bevor er 1996 sein Studium des Wirtschaftsingenieurwesens an der TU Dresden begann. Vertiefungsrichtungen waren neben den ingenieurwissenschaftlichen Fächern aus dem Bereich der elektrischen Energietechnik die Allokationstheorie aus der Volkswirtschaftslehre und die betriebliche Umweltökonomie sowie Innovationsmanagement und BWL junger Unternehmen im Feld der Betriebswirtschaftslehre. In seiner Studien- und Diplomarbeit beschäftigte er sich mit dem Thema "Arbeiten unter Spannung".

Seit 2004 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Clausthal, zunächst am Institut für Elektrische Energietechnik und seit 2007 am Energie-Forschungszentrum Niedersachsen in Goslar. Das „Virtuelle Kraftwerk Harz“ war sein erstes Forschungsprojekt. Seitdem war er an verschiedenen anderen Forschungsprojekten und Studien zum Thema Energie beteiligt. In der Lehre betreut er die Vorlesung Elektrizitätswirtschaft. Darüber hinaus schreibt er derzeit an seiner Dissertation.

Seit 2007 ist er Projektkoordinator des inzwischen abgeschlossenen Forschungsprojekts "Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke", an dem neben dem Energie-Forschungszentrum Niedersachsen sieben Clausthaler Institute und vier externe Partner beteiligt waren. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Projekts wurde das Potenzial für komplett untertägiger Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland ermittelt und mögliche Pilotstandorte vorgeschlagen. Für die beabsichtigte Realisierung eines großtechnischen Prototypen im Harz bis 2019 sollen im nächsten Jahr mit Partnern aus der Energiewirtschaft und Unterstützung aus der Region und der Politik die vorbereitenden Arbeiten für eine Bau- und Betriebsgenehmigung beginnen.



## Inhalt

1 Einführung.....	11
1.1 Intention des Projekts.....	11
1.2 Gesamtziel des Vorhabens.....	12
1.3 Bezug zu den förderpolitischen Zielen.....	12
1.4 Zusammenarbeit im Projekt.....	13
2 Einordnung der Technologie untertägiges Pumpspeicherwerk.....	14
3 Potenziale in Deutschland.....	16
4 Modellbergwerke.....	18
4.1 Einführung.....	18
4.2 Erzbergwerk Grund – Wiemannsbuchtschacht.....	19
4.3 Erzbergwerk Pöhla.....	24
5 Zusammenfassung.....	25
6 Literatur.....	26
7 Kurzfassungen der Teilberichte.....	26
7.1 Geomechanische Aspekte.....	26
7.2 Markscheiderische und bergmännische und Aspekte.....	27
7.3 Maschinentechnische Aspekte.....	27
7.4 Energiesystemtechnische Aspekte.....	28
7.5 Juristische Aspekte.....	29
7.6 Aspekte aus Umweltsicht.....	29
7.7 Wirtschaftswissenschaftliche Aspekte.....	30

# 1 Einführung

## 1.1 Intention des Projekts

Das derzeit noch weitgehend auf fossilen Primärenergien basierende elektrische Energie-Versorgungssystem befindet sich im größten Umbruch seit der Liberalisierung im Jahre 1998, hin zu einem nachhaltigen Energiewirtschaftssystem. Dabei stehen die drei Säulen der Nachhaltigkeit, die Ökologie, die Ökonomie und die Sozialverträglichkeit zum Teil im Zielkonflikt miteinander. Die ökonomische Einbindung der ökologisch sinnvollen elektrischen Energie-Erzeugung auf Basis regenerativer Energien stellt dabei eine besondere Herausforderung dar, da diese sowohl räumlich als auch zeitlich weitestgehend an das Dargebot der Energie-Quelle gebunden ist. Dies führt auf lange Sicht zwangsläufig zu einer Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch. Während sich dadurch die Erzeugungszentren immer weiter in die Küstenregionen mit relativ geringem Bedarf an elektrischer Energie verlagern, befinden sich die Verbrauchsschwerpunkte im Westen bzw. Süden Deutschlands. Hinzu kommt die zeitliche Ungleichgewichte zwischen Erzeugungsgang und Lastgang, deren Ausgleich in zunehmenden Maße eine Herausforderung für die Netz- und Kraftwerksbetreiber darstellt.

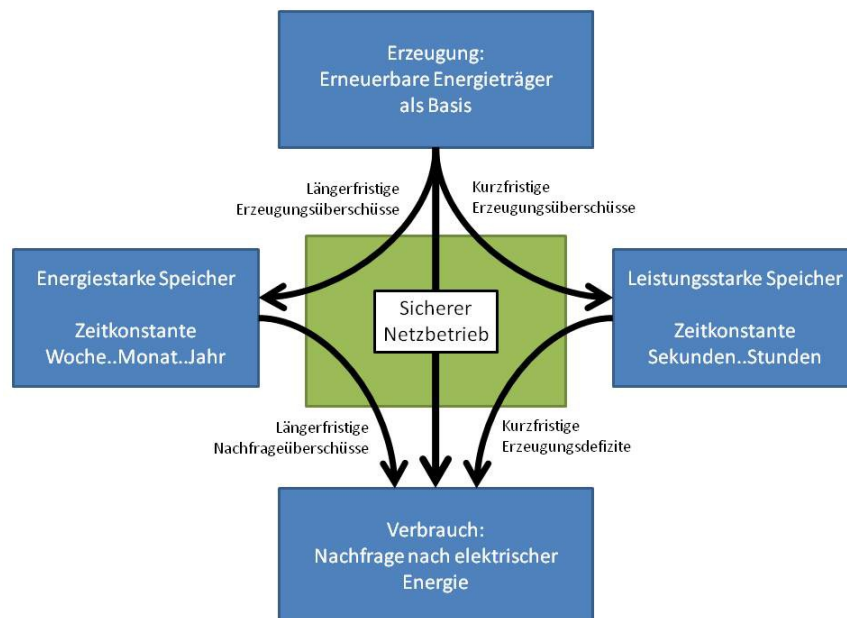


Abbildung 1: Bedeutung von Speichern im künftigen, auf erneuerbaren Quellen basierenden elektrischen Energiesystem (Quelle: S. Hißbach, M. Schmidt)

Da gerade die in Deutschland überwiegend genutzte erneuerbare Energiequelle Wind starken Schwankungen unterliegt, kann ihr Erzeugungsgang nur bedingt an den Lastgang des Verbrauchs angepasst werden. Andererseits ist der Ausgleich der Leistungsbilanz essentiell für die Stabilität des elektrischen Energieversorgungssystems. Im Fall eines Erzeugungsdefizits müssen andere – heute meist auf fossiler Basis beruhende – Kraftwerke die fehlende Leistung bereitstellen. Umgekehrt kann in der Lastsituation Starkwind / Schwachlast ein Erzeugungüberschuss auftreten, der nicht mehr durch Leistungsreduktion konventioneller Kraftwerke beherrscht werden kann. Um in solchen Situationen Windkraftanlagen nicht abschalten zu müssen und somit Einschränkungen bei der Erzeugung regenerativer elektrischer Energie zu vermeiden, sind leistungs- und energiestarke Speicher notwendig (Abbildung 1).

Langfristig gesehen sind für ein nachhaltiges Energie-Wirtschaftssystem zwei Speicherfunktionen für den Umbau in ein nachhaltiges Energie-Wirtschaftssystem notwendig. Einerseits müssen große Energie-Speicher für den Ausgleich längerfristige Schwankungen im Wochen-, Monats- oder Jahresbereich zur Verfügung stehen, beispielsweise für länger Windflauten. Hierfür konnte sich noch keine Technologie im großtechnischen Maßstab etablieren. Darüber hinaus werden leistungsstarke Speicher mit relativ kurzen Vollastbetriebszei-

ten im Stundenbereich benötigt, die kurzfristige Last- und Erzeugungsschwankungen, beispielsweise durch Sturmabschaltungen ausgleichen können. Um diese Funktion eines großtechnischen Speichers im Energie-Wirtschaftssystem übernehmen zu können, sind derzeit nur hydrodynamische Pumpspeicher-(kraft-)werke am Markt verfügbar. Für diese werden neue Standorte in Deutschland aufgrund des damit verbundenen erheblichen Eingriffs in die natürliche Umwelt weitgehend ausgeschlossen. Nach Untersuchungen der Energietechnischen Gesellschaft im VDE wird ein Leistungsüberschuss von rund 14 GW erwartet, während im deutschen Energie-Versorgungssystem derzeit nur rund 7 GW an Pumpspeicherleistung installiert sind (vgl. [1]).

Im Mittelpunkt der vorliegenden Studie steht daher die Untersuchung einer neuen Option, der Nachnutzung von stillgelegten Bergwerken durch untertägige hydraulische Pumpspeicherwerke (PSW-unter-Tage) als Speicher für die durch Windenergie erzeugte elektrische Energie. Im ersten Schritt werden zunächst deutschlandweit die auf diese Weise erschließbaren Windspeicherpotenziale untersucht und bewertet. Exemplarisch werden anhand zweier Gruben ein Konzept für ein untertägiges Pumpspeicherwerk in Deutschland entwickelt - um die verschiedenen Aspekte eines solchen Kraftwerksprojekts aus bergbau- bzw. maschinenbaulicher, elektrotechnischer, ökonomischer, ökologischer und rechtlicher Sicht zu betrachten und mögliche Pilotstandorte aufzuzeigen.

## **1.2 Gesamtziel des Vorhabens**

Mit dem Projekt wurde das Ziel verfolgt, die Option der Nachnutzung von stillgelegten Bergwerken durch untertägige hydraulische Pumpspeicherwerke als dezentrale Speicher für die durch Windenergie erzeugte elektrische Energie zu bewerten und das in der Bundesrepublik auf diese Weise realisierbare Windspeicherpotenzial zu ermitteln. In den als „gut geeignet“ eingestuften Regionen wurde die erste Schätzung durch Recherche nach einzelnen Schächten bzw. Schachtsystemen konkretisiert.

Dabei wurden die bergmännischen und markscheiderischen Verhältnisse, die maschinentechnische Ausrüstung und die Möglichkeiten der Integration in das elektrische Energieversorgungsnetz erörtert, die Errichtung untertägiger Pumpspeicherwerke (genehmigungs-)rechtlich, hinsichtlich der Umweltfolgen und wirtschaftlich bewertet und durch beispielhafte Untersuchungen an zwei Standorten im Harz und Erzgebirge verifiziert.

## **1.3 Bezug zu den förderpolitischen Zielen**

Die Bundesregierung verfolgt im Rahmen der Energiepolitik das Ziel eines nachhaltigen, klimaschonenden elektrischen Energie-Versorgungssystems in Deutschland. Die dafür fixierten ambitionierten Ausbauziele für erneuerbaren Energien lassen sich nur erreichen, wenn zu deren Nutzung alle Technologien konsequent weiterentwickelt werden. Dies wird auch durch den vom EEG vorgegebenen Anreiz zur Kostensenkung durch degressive Einspeisevergütungen unterstützt.

In diesem Rahmen möchte das BMU mit seiner anwendungsorientierten Forschungsförderung dafür sorgen, dass

- der Ausbau erneuerbarer Energien voran getrieben wird,
- die internationale Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und Forschungsinstitute gefestigt und ausgebaut sowie
- Arbeitsplätze geschaffen und gesichert werden.

Auf diese Weise werden die Voraussetzungen geschaffen, damit

- die Kosten für erneuerbare Energien kontinuierlich sinken,
- die Energiesysteme insgesamt optimiert werden und
- der Ausbau erneuerbarer Energien umwelt- und naturverträglich erfolgt.

Zur Netzintegration von Windkraftanlagen werden verschiedene Technologien diskutiert. Dabei werden Erzeugungsmanagement, zusätzliche Speicher, ein europaweiter Netzausbau und Lastmanagement disku-

tiert. Während das Erzeugungsmanagement klimapolitisch umstritten und nur als Übergangslösung akzeptabel erscheint, werden den Optionen zusätzliche Speicher in Verbindung mit einem europaweiten Netzausbau die meisten Potenziale eingeräumt. Im Rahmen des Vorhabens wurde das dafür zur Verfügung stehende Potenzial der Technologie untertägiger hydrodynamischer Pumpspeicherwerke unter Nutzung stillliegender Bergwerke in Deutschland untersucht, um so einen Teil des notwendigen Speicherbedarfs mit einem im Vergleich zu herkömmlichen Pumpspeicherwerken wesentlich geringeren Flächenverbrauch zu decken.

## 1.4 Zusammenarbeit im Projekt

Zur Bearbeitung der fachübergreifenden Fragestellungen zur Erforschung der Möglichkeiten, Pumpspeicherwerke unter Tage zu realisieren, wurde ein transdisziplinäres Projektteam mit Partnern aus Industrie und Forschung gebildet, die nach Schwerpunkten arbeiteten (Abbildung 2). Insbesondere bei der Recherche nach geeigneten Standorten und zugehörigen Daten wurde das Projektteam maßgeblich durch das Bergarchiv Clausthal unterstützt, bei der Untersuchung der beiden exemplarischen Standorte von den Firmen Bergbau Goslar GmbH und Wismut GmbH.

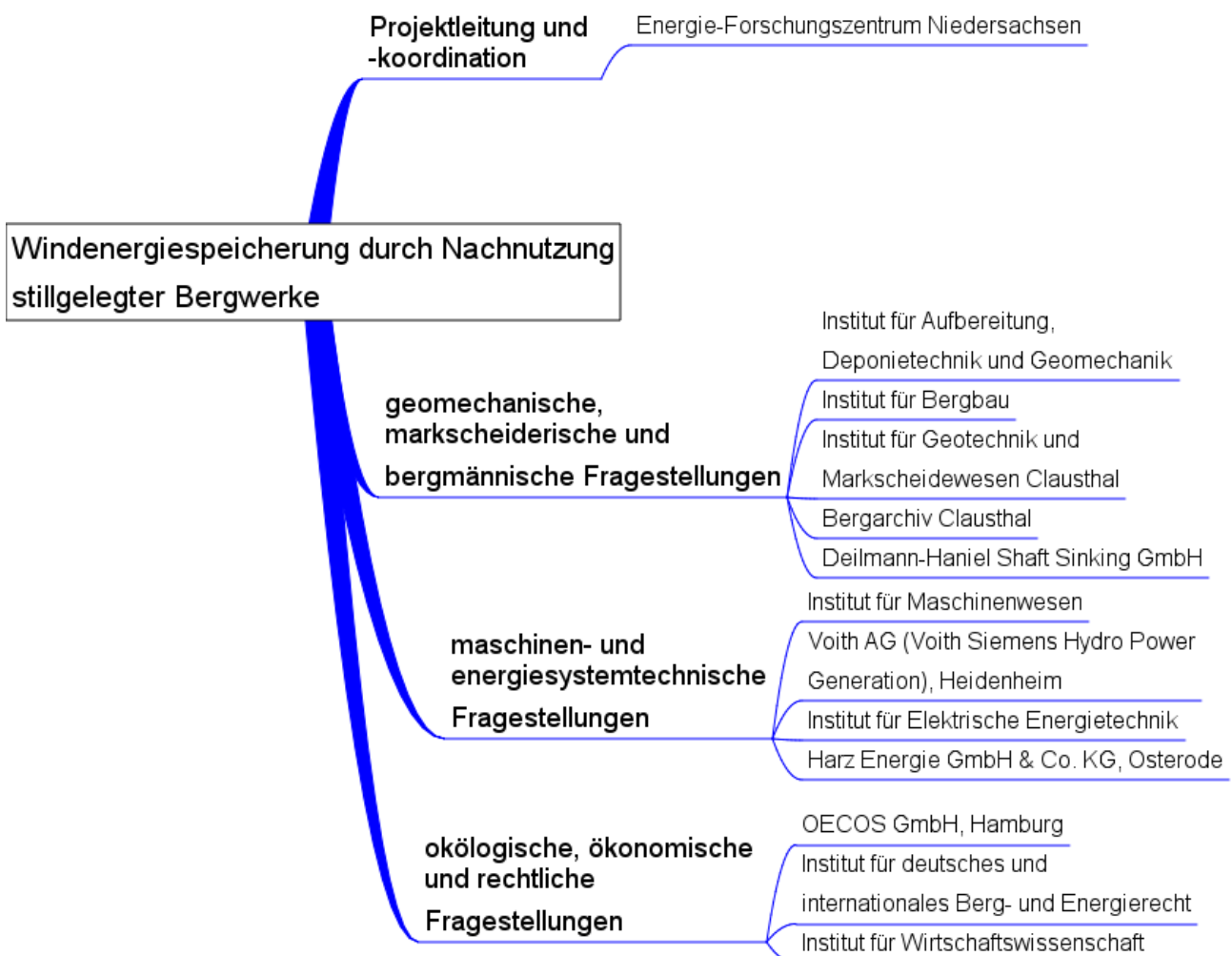


Abbildung 2: Struktur des Projekts mit Verbundpartnern und ihre Schwerpunkte (Quelle: M. Schmidt)

## 2 Einordnung der Technologie untertägiges Pumpspeicherwerk

Pumpspeicherwerke sind eine seit Jahrzehnten im Energiewirtschaftssystem bewährte Technologie, um die Differenzen zwischen Erzeugung und Nachfrage nach elektrischer Energie auszugleichen. Während bis zur Jahrtausendwende Pumpspeicherkraftwerke zum Ausgleich von Bedarfsspitzen und Lastschwankungen dienten, werden sie heute zunehmend zum kurzfristigen Ausgleich der fluktuierenden Erzeugung eingesetzt.

Arbeitet ein Pumpspeicherwerk im Verbund mit Windkraftanlagen im Sinne eines virtuellen Kraftwerks zusammen, so kann kurzfristig verfügbare „überschüssige“ Windenergie dazu genutzt werden, um Wasser aus einem tiefer in ein höher gelegenes Becken zu pumpen. Dabei wird die elektrische Energie in potenzielle Energie des gespeicherten Wassers umgewandelt. Die gespeicherte Energie ist dabei proportional zur Masse des Wassers und der Höhendifferenz. Im Fall einer starken Nachfrage oder bei Wind-Flaute kann sehr schnell reagiert werden, indem das Wasser dann wieder „talabwärts“ fließt und dabei elektrische Energie mithilfe einer Turbine und einem Generator erzeugt. Diese wird dann in das öffentliche Energieversorgungsnetz eingespeist. Üblicherweise erreichen heutige Pumpspeicherwerke einen Gesamtwirkungsgrad von mehr als 75% (vgl. [2]).

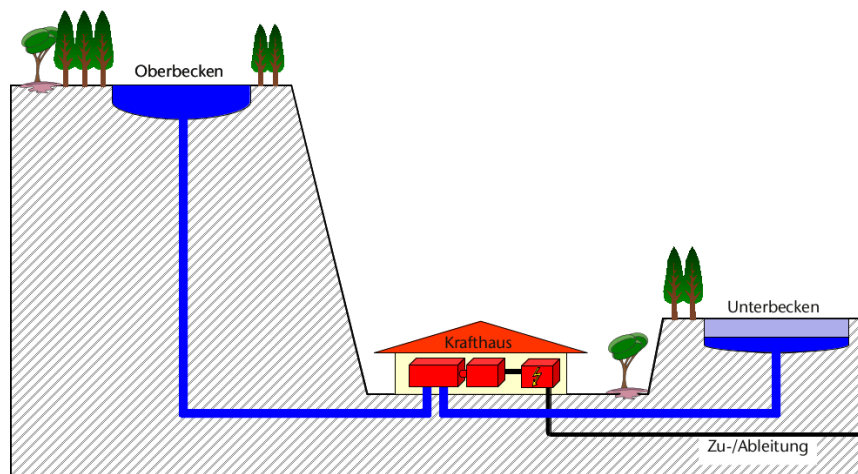


Abbildung 3: Prinzipbild eines Pumpspeicherwerks über Tage (Quelle: M. Schmidt)

In konventioneller Bauweise bestehen Pumpspeicherwerke aus einem Ober- und Unterbecken zur Wasserspeicherung und einem unter dem Höhenniveau des Unterbeckens angeordneten Maschinenhaus bzw. einer untertägigen Maschinenkaverne mit Pumpe/ Motor und Turbine/ Generator (Abbildung 3). Neben dem Problem, dass die natürlichen Höhendifferenzen zwischen Ober- und Unterbecken als begrenzender Faktor eine erhebliche Rolle spielen, stellen sie einen raumbedeutsamen Eingriff in die natürliche Umwelt bei einem erheblichen Oberflächenverbrauch dar. Daher sind in Deutschland nur wenige neue geeignete Standorte zu finden, die auch von den jeweils betroffenen Anwohnern akzeptiert werden.

Demgegenüber können mit der Technologie „Pumpspeicherwerk unter Tage“ vorhandene Schächte nachgenutzt werden, so dass der Oberflächenverbrauch minimiert wird. Wie bei einer übertägigen Anlage sind auch bei einem untertägigen Pumpspeicherwerk die wesentlichen Bestandteile (Ober- und Unterbecken, Maschinenkaverne mit Maschinensatz und elektrische Anlagen sowie Zu- und Ableitung für die elektrische Energie, Netzanschluss) zu finden (Abbildung 4). Im Gegensatz zu einer konventionellen Anlage sind diese jedoch weitgehend untertägig angeordnet. Darüber hinaus sind für die PSW-unter-Tage weitere Schächte und Strecken notwendig. Dies sind zum einen je ein Transport- und Fluchtschacht, wovon mindestens einer der beiden zur Nachnutzung bereits vorhanden sein sollte. Zum anderen ist die Notwendigkeit eines getrennten Kabelschachtes für die Zu- und Ableitung kritisch zu prüfen, da die Kabel je nach Leistung des Kraftwerks als Mittel-, Hoch- oder Höchstspannungskabel auszuführen sind.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nähere Ausführungen dazu sind in den Teilberichten zu Markscheiderische und Bergmännische Aspekte sowie Energiesystemtechnische Aspekte zu finden.

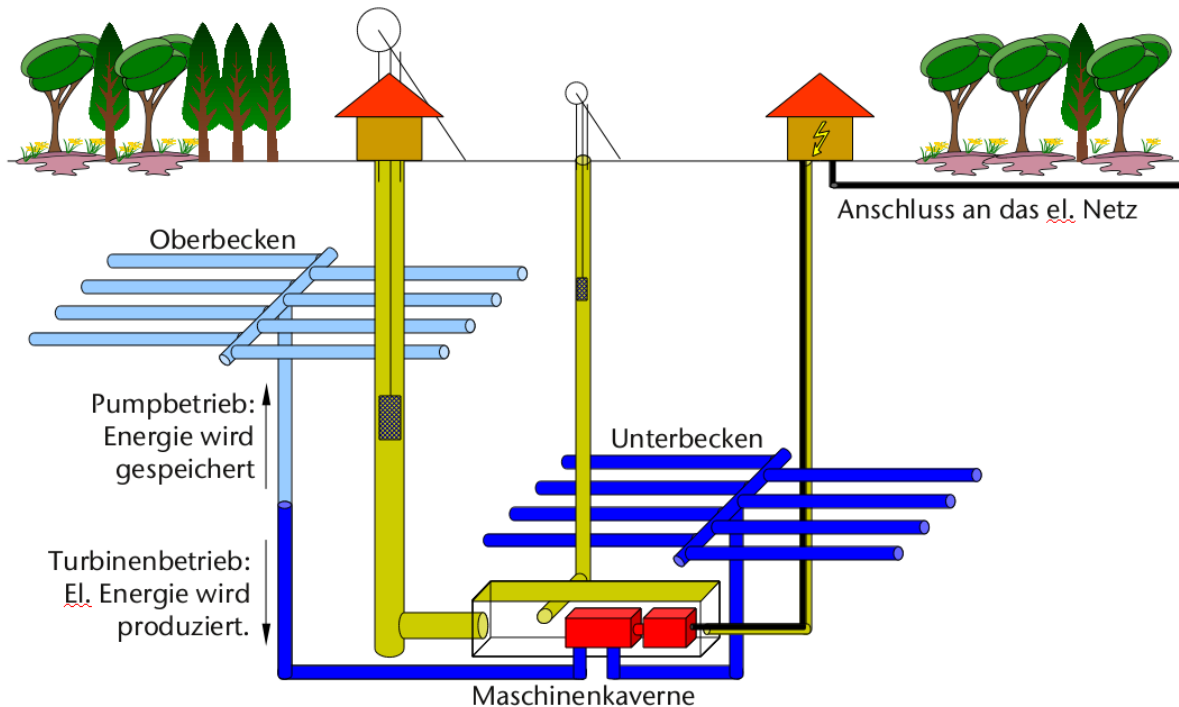


Abbildung 4: Prinzipbild eines Pumpspeicherwerks unter Tage (Quelle: M. Schmidt)

Für die Errichtung und den Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks, mit dem ein stillgelegtes Bergwerk nachgenutzt wird, lassen sich verschiedene Phasen abgrenzen, die von einem rohstoffgewinnenden Bergbaubetrieb zu unterscheiden sind:

- Öffnung der stillgelegten Grubenräume
- Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerks mit Auffahrung der benötigten Grubenbau
- Betrieb des Pumpspeicherwerks
  - ungestörter Leistungsbetrieb
  - Revision bzw. Wartung
  - Störung
- Umbau bzw. Erweiterung des Pumpspeicherwerks
- Stilllegung und Rückbau

An jede dieser Phasen werden verschiedene ingenieurtechnische, aber auch wirtschaftliche und rechtliche Anforderungen gestellt, die für eine erfolgreiche Nachnutzung als Pumpspeicherwerk unter Tage zu berücksichtigen sind.

Insgesamt sind für eine konkrete Investitionsentscheidung die künftigen Entwicklungen aus drei Bereiche zu prognostizieren, die technische, die ökonomische und die politische Entwicklung (Abbildung 5). Dabei sind die technischen Faktoren noch relativ gut zu prognostizieren, obwohl hinsichtlich der technischen Weiterentwicklung Unsicherheiten insbesondere im Speicherbereich bestehen. Auch die ökonomischen Faktoren lassen sich, wenn auch schwieriger als die technischen Faktoren und in Abhängigkeit von unternehmenseigenen Einschätzungen und dessen strategischen Ausrichtungen abschätzen. Als größte Unsicherheit erscheint derzeit der politische Rahmen.



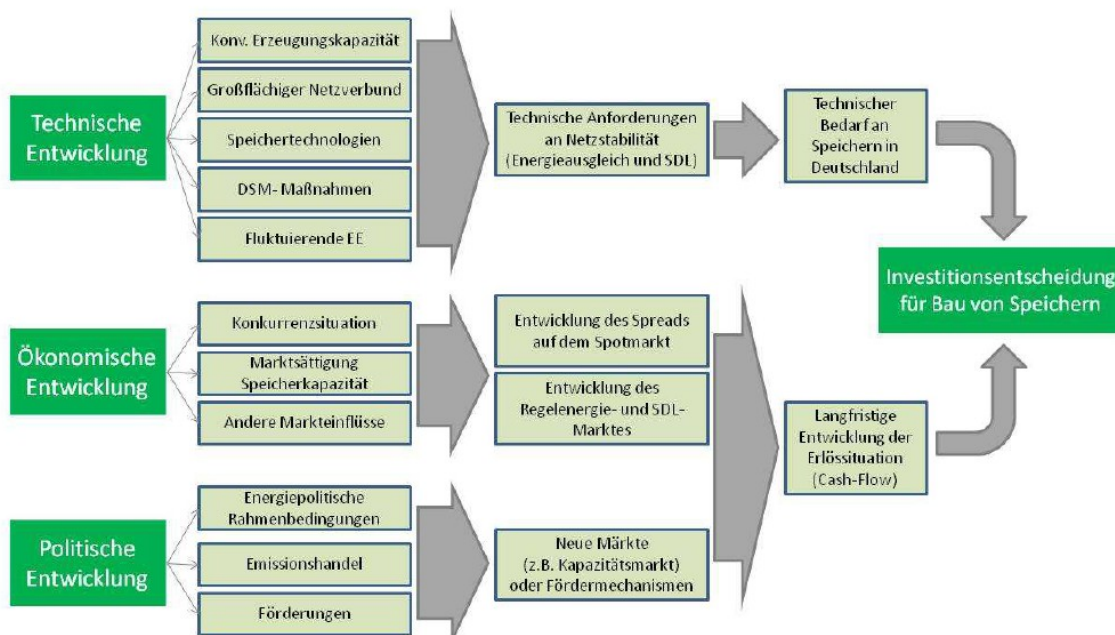


Abbildung 5: Einflussfaktoren für die Investitionsentscheidung für Pumpspeicherwerke (Quelle: EFZN / M. Schmidt, S. Hißbach in Anlehnung an SRU 2011)

### 3 Potenziale in Deutschland<sup>2</sup>

Die Gesamtzahl der durch den Bergbau entstandenen Tagesöffnungen für untertägige Grubenbaue in Deutschland lässt sich auf Basis der Akten in den Bergarchiven auf weit über 100.000 schätzen. Auch wenn nur ein geringer Bruchteil für die Nachnutzung als Pumpspeicherwerk geeignet erscheint, ist die Betrachtung jedes einzelnen Schachts nicht zielführend. Da die Eigenschaften der aufgefahrenen Hohlräume mit den abgebauten Mineralien korreliert, wurden zunächst die einzelnen Bergbauregionen in Deutschland identifiziert (Abbildung 6). Zusammengefasst sind dies Stein- und Pechkohle, Kali- und Steinsalz sowie Erze, Spat und Schiefer.

Bei der Bewertung der Eignung der stillgelegten Bergwerke zur Nachnutzung als Pumpspeicherwerk sind folgende grundlegenden Rahmenbedingungen zu beachten: Der Schutz von bauenden oder bauwürdigen Lagerstätten muss gewährleistet werden. Bergwerke im Lockergestein erfordern einen großen Sicherungsaufwand und sind ebenso wie Bergwerke von denen Umweltgefahren ausgehen, hinsichtlich ihrer Eignung abzustufen, beispielsweise Untertagedeponien. Ebenso betrifft dies Gruben, in denen mit einer größere Freisetzung von giftigen oder umweltgefährdenden Stoffen oder explosiven Gasen wie im Stein- oder Pechkohleabbau zu rechnen ist. In Salzbergwerken ist selbst bei Verwendung einer gesättigten Salzlauge aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Sättigungspunktes mit Umlösungsprozessen zu rechnen. In Gebieten mit altem Bergbau, dessen Grubenbaue teilweise oder ganz geflutet sind, ist zu prüfen, ob die durch die Nachnutzung notwendige Sümpfung der Grubenbaue durch Bewegung der Füllsäulen zu Bergschäden führen kann. Ein Beispiel hierfür ist das Bergrevier Halsbrücke in Sachsen. Zu vermeiden sind aufgrund der Wasserhaltung Bergwerke mit Verbindungen zu großen Grundwasserleitern.

Im Ergebnis der Untersuchungen der Institute für Bergbau sowie Geotechnik und Markscheidewesen wurden drei Regionen identifiziert, in denen mit hoher Wahrscheinlichkeit stillgelegte Bergwerke mit guter Eignung zur Nachnutzung als Pumpspeicherwerk unter Tage zu finden sind (Abbildung 7). Dies sind das Erzgebirge, das Siegerland mit dem Lahn-Dill-Gebiet und der Harz.

<sup>2</sup> Nähere Ausführungen zur Auswahl und zur Potenzialschätzung sind im Teilbericht zu markscheiderischen und bergmännischen Aspekten zu finden.

## Bergbauregionen in Deutschland

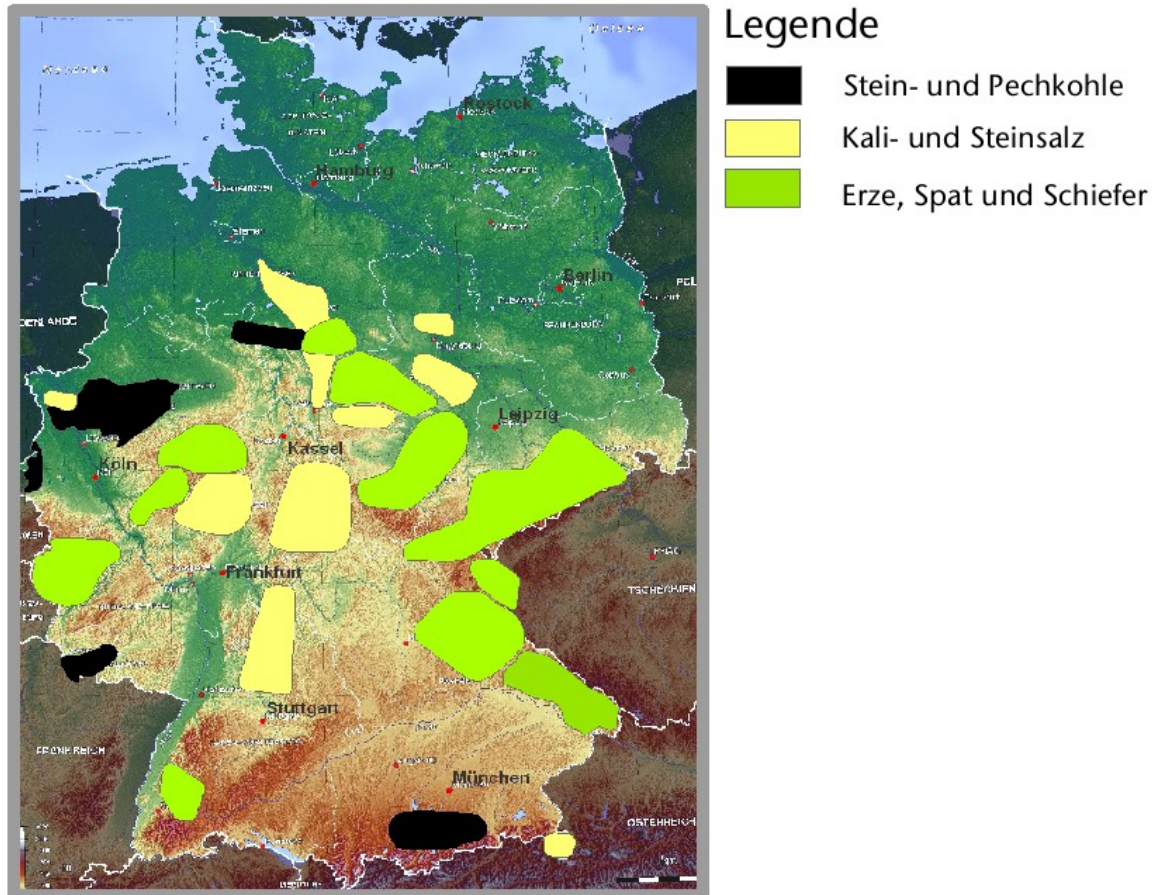


Abbildung 6: Regionen mit untertägigen Bergbau in Deutschland (Quelle: IGMC)

In einem weiteren Schritt wurden die drei gut geeigneten Regionen die einzelnen Gruben untersucht, die dann wiederum in gut, bedingt und weniger geeignete Schächte klassiert wurden. Im Ergebnis der Untersuchungen, die im bergmännischen Teilbericht dokumentiert sind, wurden im Erzgebirge 43, im Siegerland und Lahn-Dill-Gebiet 50 und im Harz 11 Bergwerke als gut und bedingt geeignet eingestuft.

Da die heute stillgelegten Bergwerke nur zum Zweck und für die Zeit des Rohstoffabbaus und nicht für eine Nachnutzung als Pumpspeicherwerk errichtet wurden, ist das vorgefundene Grubengebäude und das umgebende Gebirge im Hinblick auf die nun beabsichtigte Nutzung sehr genau analysiert werden. Daher ist es notwendig, die Gruben durch Auffahrungen und Erweiterungen für die neue Aufgabe zu ertüchtigen.

Um abzuschätzen, welche Leistung und Kapazität an untertägigen Pumpspeicherwerken mit diesen insgesamt 104 gut und bedingt geeigneten Gruben realisierbar sind, müsste jedes dieser Bergwerke einer Einzel-fallbetrachtung unterzogen werden, da die Menge der verschiedenen standortspezifischen Faktoren und deren Einfluss auf das Ergebnis der Schätzung zu groß ist. Ein Anhaltspunkt kann jedoch durch folgende stark vereinfachende Annahmen ermittelt werden. Wird unterstellt, in jedem dieser Bergwerke könne ein Pumpspeicherwerk in der im folgenden Kapitel betrachteten Größenordnung mit einer Leistung von 100 MW und einem Arbeitsspeicher von 400 MWh errichtet werden, so wäre theoretisch eine Gesamtleistung von rund 10 GW und eine Speicherkapazität von 40 GWh und damit eine Verdoppelung der heute installierten Pumpspeicherkapazität in Deutschland sowohl hinsichtlich der Leistungs- als auch der Energie-Betrachtung abzuschätzen. Die Werte können ein erster grober Anhaltspunkt sein. Grund ist die zu erwartende große Streuung der tatsächlichen Werte für den einzelnen Standort sowohl nach oben als auch nach unten.



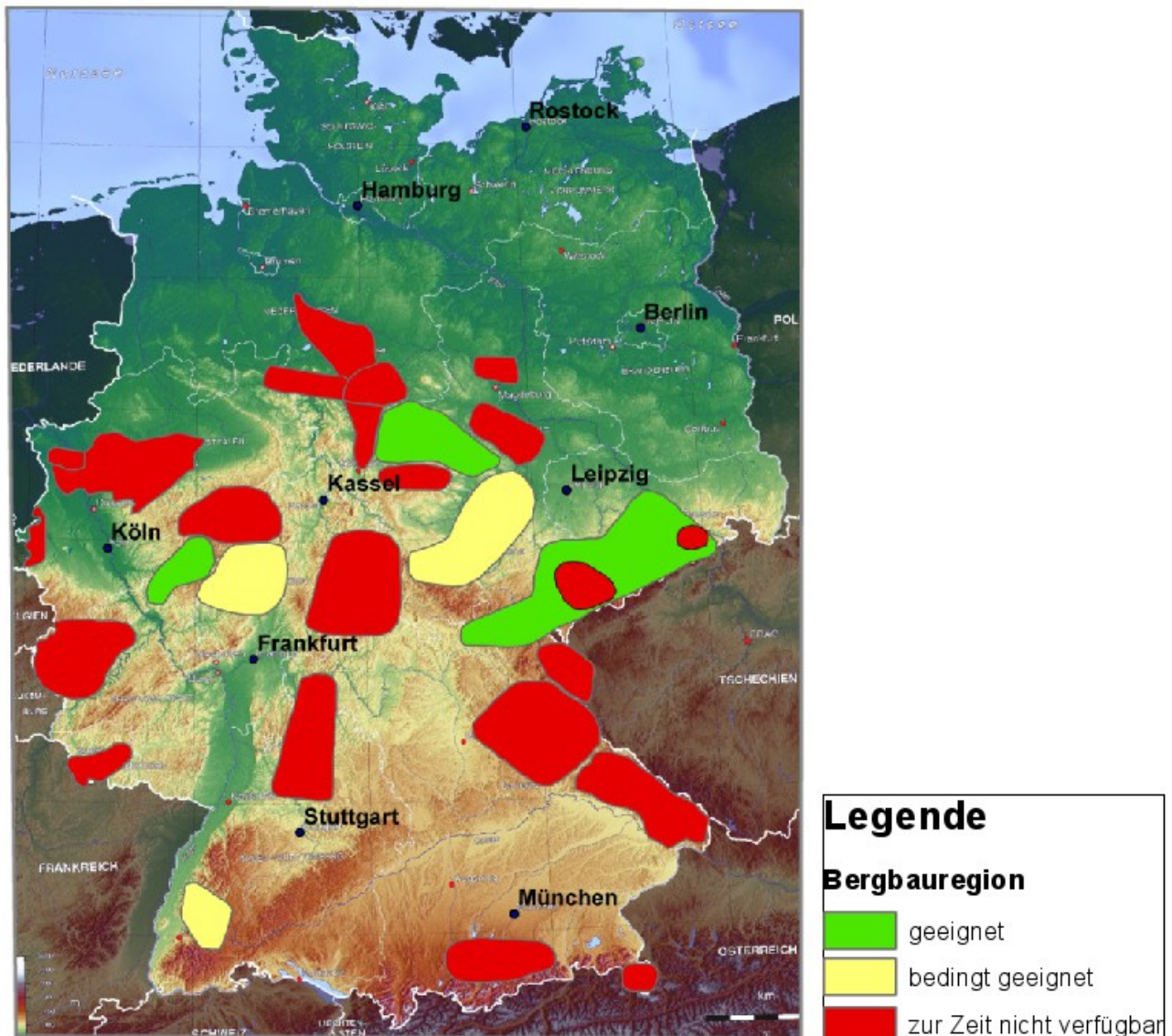


Abbildung 7: Bergbauregion nach Eignung entsprechend des Kriterienkataloges aus den bergmännischen Untersuchungen (Quelle: IGMC)

## 4 Modellbergwerke

### 4.1 Einführung

Aufgrund der komplexen interdisziplinären Problemstellungen, die die Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerkes bedingt, wurden für die weiteren Betrachtungen zwei Modellbergwerke ausgewählt, zum einen der Wiemannsbuchtschacht des stillgelegten Erzbergwerks Grund im Harz und zum anderen das ehemalige Erzbergwerk Pöhla im Erzgebirge. Anhand dieser beiden Gruben erfolgte eine standortbezogene Betrachtung der Möglichkeiten zur Nachnutzung als Pumpspeicherwerk aus markscheiderischer, geomechanischer, bergbaulicher, maschinen- und elektrotechnischer sowie in wirtschaftlicher, (genehmigungs-)rechtlicher und umweltsplanerischer Sicht.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Detaillierte Ausführungen dazu sind den einzelnen Teilberichten zu entnehmen.

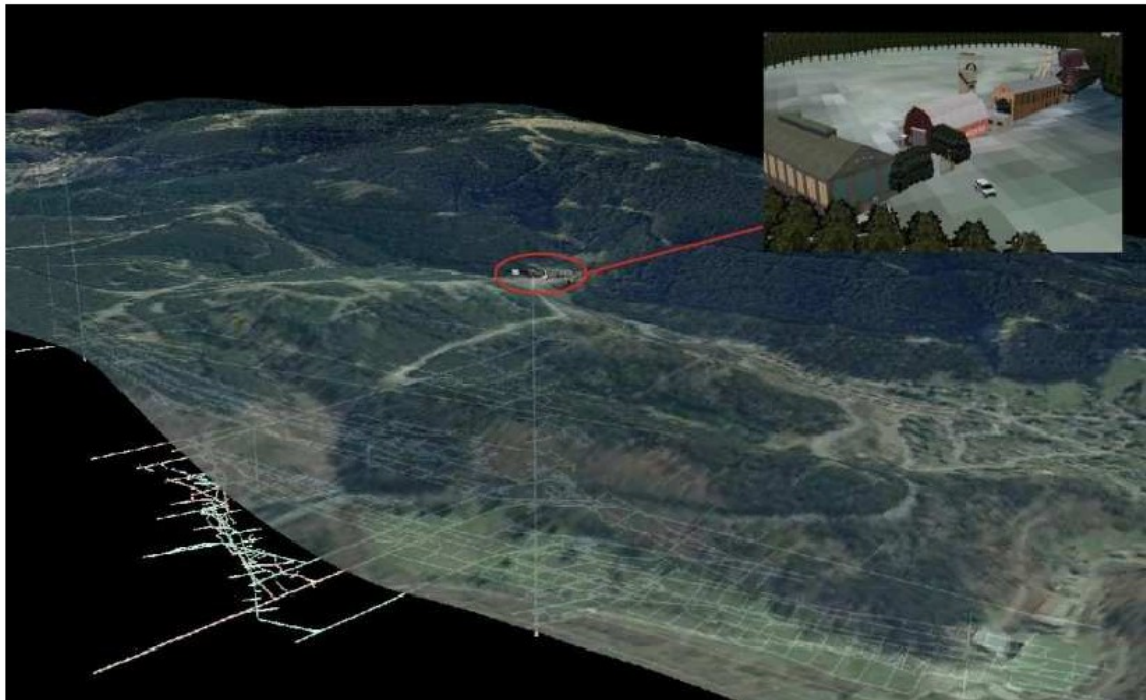


Abbildung 8: Digitales Landschaftsmodell Bad Grund – mit einer Darstellung des Geländes Wiemannsbuchtschacht (Quelle: IGMG)

#### 4.2 Erzbergwerk Grund – Wiemannsbuchtschacht

Das Erzbergwerk Grund in der Nähe des Kurortes Bad Grund war 1931 durch die Zusammenfassung der beiden Gruben „Hilf Gottes“ und „Bergwerkswohlfahrt“ entstanden und mit zahlreichen Um- und Ausbauten bis 1992 in Betrieb. Die Grube gehört geologisch zum nordwestlichen Oberharz, wovon etwa 350 Millionen Jahren (Unterkarbon) sandige und tonige Sedimente abgelagert wurden, die heute eine Wechsellagerung von Grauwacke und Tonschiefern bilden. Diese wurden während des Oberkarbon gefaltet und durch eine intensive Bruchtektonik bis vor etwa 250 Millionen Jahren (Erdaltertum) in ein Mosaik von Einzelschollen zerbrochen und gedehnt. Mit der Ausfüllung der bis zu 80 m breiten Gangspalten durch teilweise zerriebenes Nebengestein und hydrothermale Lösungen entstand die Grunder Erzlagerstätte (vgl. [3]). Das Nebengestein ist nach den Ergebnissen des Teilberichts zu geomechanischen Fragestellungen als gut standfest einzustufen.

Im Laufe des Betriebes des Erzbergwerks Grund und seiner Vorläufer wurden verschiedene Metallerze, insbesondere silberreiche Bleierze und deren Begleiterze gefördert. Der hier betrachtete Wiemannsbuchtschacht (Abbildung 8) wurde 1948 als seigere Verlängerung des Blindschachtes II geplant. Ein Jahr später begann das Teufen mit den Aushubarbeiten. Er ging er nach dem Durchschlag mit dem Blindschacht in 320 m Teufe und nach Fertigstellung der Tagesanlagen Ende 1951 in Betrieb (vgl. [3]). Die lichte Weite des Schachtes ohne Ausbauten beträgt im Minimum 3,5 m im Durchmesser. Er erreicht eine Teufe von 761 m und erschloss zuletzt bis zur Stilllegung gemeinsam mit drei weiteren Schächten das Grubenfeld des Erzbergwerks Grund.

Nach der Schließung des Bergwerks wurde es bis zum Niveau des Ernst-August-Stollens durch die zusetzenden Grubenwässer kontrolliert geflutet. In die Schächte wurden Betonplomben eingebracht, die im Falle des Wiemannsbuchtschachtes bis in eine Teufe von knapp 130 m reicht. In unmittelbarer Nähe des Schachtes treffen sich zwei der Erzgänge, die dann den Schacht selbst schneiden, so dass Ober- und Unterbecken aus Sicht des Schachtes auf gegenüber liegenden Seiten angelegt werden müssen. Die Schachtgebäude über Tage wurden unter Denkmalschutz gestellt. Unter Tage gehört der Ernst-August-Stollen seit kurzem zum Weltkulturerbe „Oberharzer Wasserwirtschaftssystem“. Bei der Planung ferner zu beachten waren die

in der Nähe gelegenen Wasser- und Landschaftsschutzgebiete sowie ein Flora-Fauna-Habitat<sup>4</sup>. Die vorgefundene Situation ist stark vereinfacht schematisch in Abbildung 9 dargestellt.

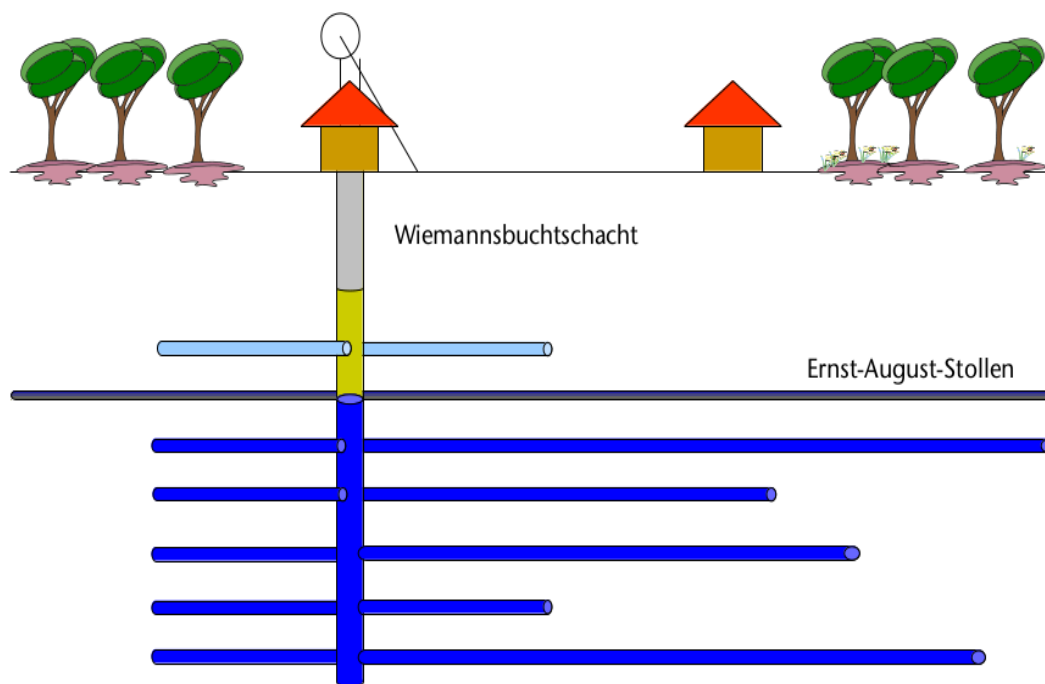


Abbildung 9: Stark vereinfachte schematische Darstellung der vorgefundenen Situation am Wiemannsbuchtschacht (Quelle: M. Schmidt)

Eine Nachnutzung der vorhandenen Strecken im Erzbergwerk Grund erscheint naheliegend. Andererseits sind durch die verwendeten Abbauverfahren und die steil stehenden Erzgänge Abdichtungen und Sicherungen der ehemaligen Abbaustrecken mit einem hohen Aufwand verbunden. Hinzu kommt, dass die auf einer Ebene vorhandenen Hohlräume und insbesondere die unter den Speicherbecken anzuordnende Maschinenkaverne durch Auffahrungen bergmännisch erweitert bzw. zu großen Teilen neu aufgefahren werden. Auf diese Weise können auch die eingangs beschriebenen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Auf dieser Basis wird zur Anwendbarkeit der Kraftwerksnetzanschlussverordnung eine Nennleistung von 100 MW oder mehr und Präqualifikation im Regellenergemarkt eine Laufzeit bei Nennleistung von mindestens 4 h angestrebt.

Entsprechend der Ergebnisse, die in den Teilberichten zu geomechanischen sowie bergmännischen und markscheiderischen Aspekten dokumentiert sind, werden für das Pumpspeicherwerk am Wiemannsbuchtschacht die übertägigen Grubengebäude, der Schacht selbst, Teile der 19. Sohle, Teile der Füllörter und der Ernst-August-Stollen nebst Verbindungsstrecke als Wasserlösungsstollen nachgenutzt.

Nach der Entfernung der Betonplombe und dem Sumpfen der Grubenbaue wird der Schacht instand gesetzt. Zum Teil parallel beginnt die Auffahrung der Becken und der Maschinenkaverne, die im Zuge des Abbaufortschritts gesichert und abhängig vom vorgefundenen Gebirge ausgebaut werden. Das Abteufen von Flucht- und Druck- sowie ggf. weiteren Schächten, die Auffahrung und Sicherung der nötigen Örter vervollständigt die grundlegenden Bausteine der Schaffung von untertägigen Hohlraum für die Nachnutzung. Die Speicherbecken werden nicht als einzelner zusammenhängender Hohlraum, sondern als Streckensystem, deren Querschnitt mit einer Breite von 5 m, einer Höhe von 7,5 m und ein Abstand von 15 m im Rahmen der geomechanischen Untersuchungen bestimmt wurde (Abbildung 10).<sup>5</sup>

Die im Bericht zu markscheiderischen und bergmännischen Aspekten näher beschriebenen Untersuchungen ergeben bei einer mittleren Fallhöhe von 700 m etwa 240.000 bis 260.000 m<sup>3</sup> nutzbares Wasservolumen.

<sup>4</sup> Genauere Angaben und Bewertungen sind dem Berichten zu juristischen und Umweltaspekten zu entnehmen.

<sup>5</sup> Genauere Angaben und Bewertungen sind dem Bericht zu geomechanischen Aspekten zu entnehmen.



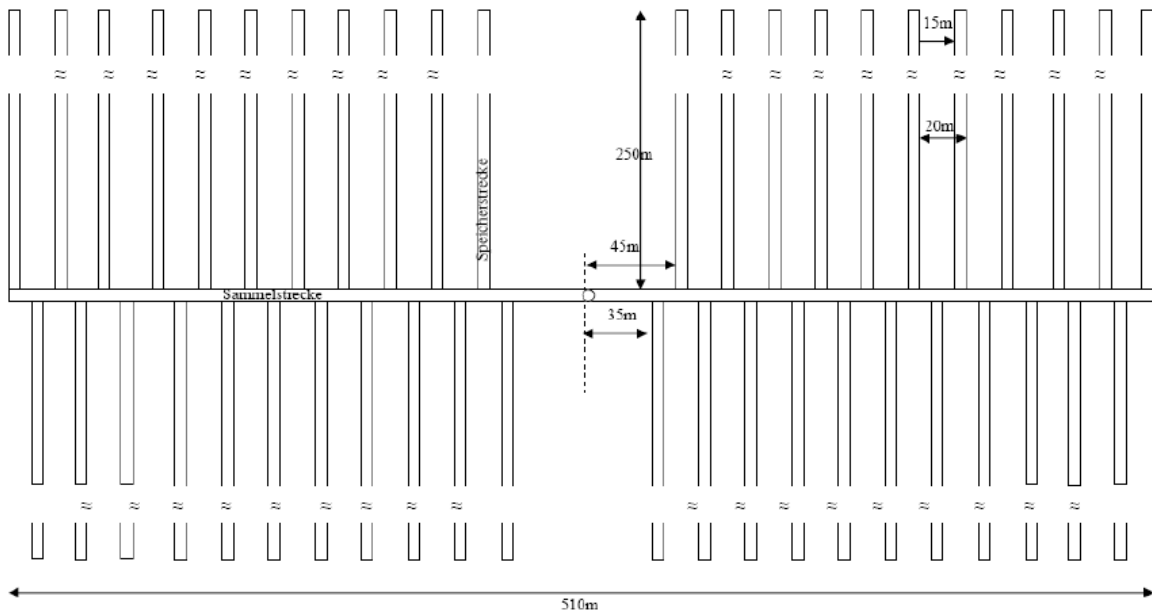


Abbildung 10: Konfiguration von Ober- und Unterbecken als Grundriß (Quelle: U. Düsterloh)

Für den Ausgleich der kurzfristigen Einspeiseschwankungen sind schnelle Lastwechsel des Maschinensatzes nötig. Im Rahmen der Auslegung führte dies zur Auswahl eines ternären Maschinensatzes (Abbildung 11). Für die vorgegebenen Rahmendaten wurden eine Francisturbine und eine zweistufige, zweiflutige Pumpe ausgewählt. Im ungestörten Leistungsbetrieb übernimmt die Pumpe auch die Aufgabe der Wasserhaltung in der Grube.

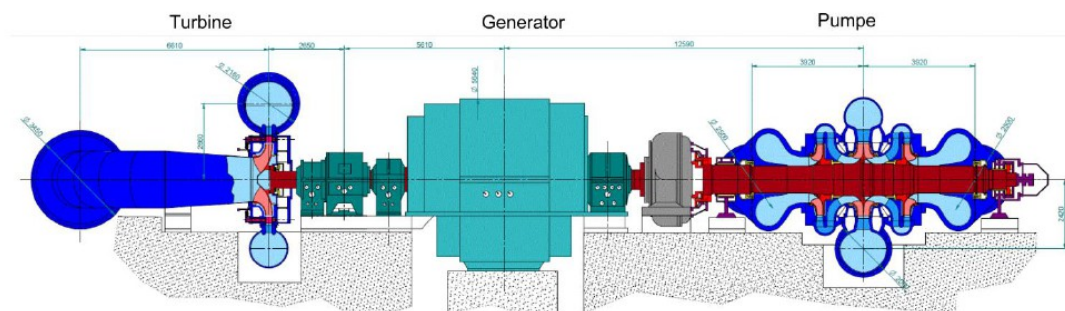


Abbildung 11: Auslegung des Maschinensatzes (Quelle: Voith)

Der Maschinensatz selbst wird in einzelnen Baugruppen durch den Schacht gebracht, beispielsweise Turbinen- und Wandlergehäuse sowie Generator Stator mehrteilig. Einige Teile müssen für den Transport durch den Schacht gedreht werden.<sup>6</sup>

Für den elektrischen Anschluss wird vorgeschlagen die Maschinenkaverne zu verlängern, um so Schaltanlagen, Maschinentrafo und Steuerung unterzubringen und die Energie bei einer installierten Leistung von 100 MW auf der Spannungsebene von 110 kV abzuleiten. Hierzu müssen entsprechende Kabelsysteme im Schacht installiert werden, um den Netzanschluss herzustellen.<sup>7</sup> Für die Netzanbindung selbst wurden verschiedene Varianten untersucht.<sup>8</sup> Die Variante „Teilverkabelung“ ist beispielhaft in Abbildung 12 dargestellt. Dabei wird vom Standort Wiemannsbuchtschacht die erste Strecke mit ca. 6 km Länge als Kabelsystem ausgeführt bis eine vorhandene einsystemige 110-kV-Freileitung der Harz Energie Netz GmbH erreicht wird.

<sup>6</sup> Genauere Ausführungen sind dem Bericht zu maschinentechnischen Aspekten zu entnehmen.

<sup>7</sup> Der elektrische Anschluss des Pumpspeicherwerk wird im energiesystemtechnischen Teilbericht eingehend behandelt.

Durch eine Verstärkung dieser Trasse um ein weiteres System bis zum Umspannwerk Münchhof wird die Netzanbindung auf dem zweiten Teil der Strecke als Freileitung ausgeführt.

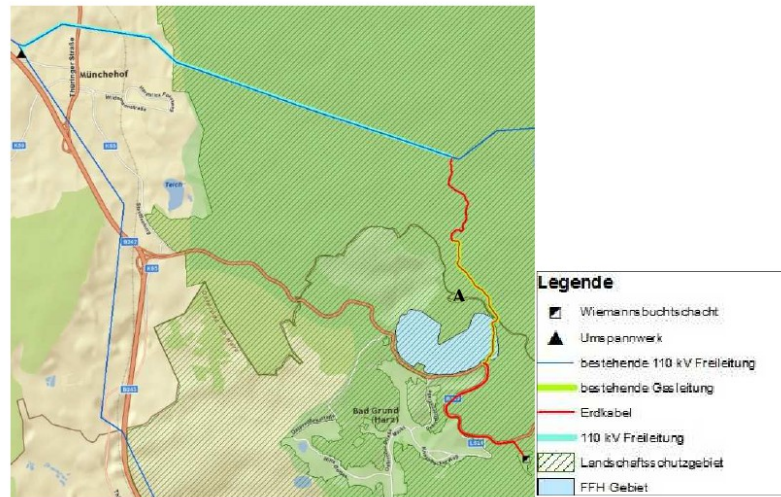


Abbildung 12: Netzanbindung - Variante Teilverkabelung (Quelle: IGMG)

Für das untersuchte Modellbergwerk Grund erscheint nach derzeitigem Stand auch aus rechtlicher Sicht eine Genehmigung für Errichtung und Betrieb grundsätzlich möglich. Für diese Einschätzung wurden folgende Rechtsgebiete untersucht:<sup>9</sup>

- Immissionsschutzrecht
- Bergrecht
- Wasserrecht
- Baurecht
- Denkmalschutzrecht
- Energiewirtschaftsrecht
- Raumordnungsrecht
- weitere genehmigungsrechtlich relevante Rechtsgebiete

Um die Umweltauswirkungen am ehemaligen Erzbergwerk Grund zu bestimmen, wurde von der Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung ausgegangen. Demnach sind flächen- und schutzgutbezogene Restriktionen am Standort zu unterscheiden, die im Bericht zu Umweltaspekten dargestellt sind<sup>10</sup>:

- Flächenbezogene Restriktionen
  - Ziele der Raumordnung und Regionalplanung
  - Landschaftsschutzgebiete (§ 26 BNatSchG 2010)
  - Geschützte Landschaftsbestandteile (§ 29 BNatSchG 2010)
  - Gesetzlich geschützte Biotope (§ 30 BNatSchG 2010)
  - Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung (§ 32 BNatSchG 2010)
  - Europäische Vogelschutzgebiete (§ 32 BNatSchG 2010)
  - Naturdenkmale (§ 28 BNatSchG 2010)
  - Flächen des Biotopverbundes (§ 21 BNatSchG 2010)
  - Wasserschutzgebiete (§§ 51, 52 WHG)
  - Forstliche Schutzgebiete
  - Bodenschutzgebiete (§ 21 Abs. 3 BBodSchG)
  - Verdachtsflächen, Altlasten, altlastenverdächtige Flächen nach § 2 BBodSchG

<sup>8</sup> Die Untersuchungen sind im Teilbericht zu markscheiderischen und bergmännischen Fragestellungen dokumentiert.

<sup>9</sup> Eine ausführliche Darstellung ist dem Teilbericht zu juristischen Teilfragen im Anhang zu entnehmen.

<sup>10</sup> Im Teilbericht „Aspekte aus Umweltsicht“ wird dies ausführlich erörtert.

- Schutzgutbezogene Restriktionen
  - Potenzielle Auswirkungen auf den Menschen, einschließlich menschlicher Gesundheit
  - Potenzielle Auswirkungen auf Tiere, insbesondere Fledermäuse
  - Potenzielle Auswirkungen auf Pflanzen
  - Potenzielle Auswirkungen auf den Boden
  - Potenzielle Auswirkungen auf Oberflächengewässer
  - Potenzielle Auswirkungen auf das Grundwasser
  - Potenzielle Auswirkungen auf Klima und Luft
  - Potenzielle Auswirkungen auf die Landschaft
  - Potenzielle Auswirkungen auf Kultur- und sonstige Sachgüter

Im wirtschaftswissenschaftlichen Teilbericht wurden Fragenstellungen zur Wirtschaftlichkeit und zur Akzeptanz untersucht. Demnach liegen die spezifischen Investitionskosten des Pumpspeicherwerks am Standort Bad Grund bei einem Speichervolumen von 400 MWh je nach Szenario zwischen 1.654 €/kW und 1.978 €/kW, dies entspricht einem Mittelwert von rund 1.800 €/kW. Demnach ist nach Einschätzung des wirtschaftswissenschaftlichen Teilberichts mit einem Investitionsvolumen von rund 180 Millionen Euro für eine Pilotanlage am Wiemannsbuchtschacht zu rechnen.

Die Struktur der Investition ist in der Abbildung 13 dargestellt. Die größten Blöcke entfallen demnach mit 60 % der Investition auf die Untertagearbeiten, 26 % der Gesamtsumme sind für die Maschinenteknik und rund 12 % für die Netzanbindung geplant.

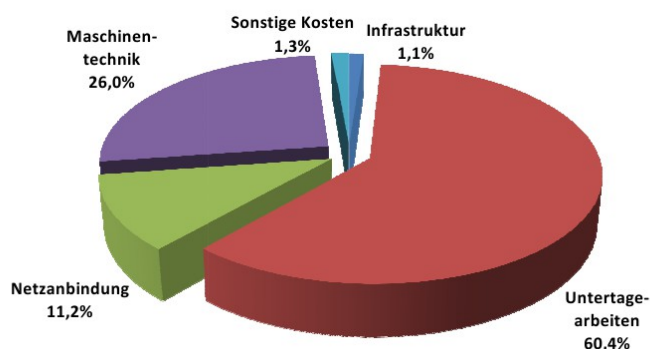


Abbildung 13: 8 Kostengruppen und -anteile an der Gesamtinvestition am Standort Bad Grund, (Speicher 400 MWh). Quelle: IfW /C. Neumann

Bedingt durch die Untertagearbeiten liegen die spezifischen Investitionskosten für Pumpspeicherwerke unter Tage über denen der bisher in Deutschland realisierten übertägigen Anlagen. Allerdings ist nicht bekannt, inwieweit neue Standorte für übertägige Pumpspeicherwerke überhaupt genehmigungsfähig und in der Bevölkerung akzeptiert sind. Hinzu kommt, dass selbst bei einer Genehmigung die zu kalkulierenden Kosten für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen wahrscheinlich deutlich höher als in der Vergangenheit sein können.

Eine belastbare Darstellung der Erlösseite gestaltet sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt als wesentlich schwieriger. Dabei wurden Ansätze für folgende Optionen beschrieben<sup>11</sup>:

- Ausnutzung von zeitlichen Preisdifferenzen
- Regelenergiemarkt
- Blindleistungsbereitstellung
- Schwarzstartfähigkeit

In einem weiteren Schritt wurde die Technikakzeptanz für Pumpspeicher unter Tage untersucht und mögliche Herausforderungen identifiziert. Dabei wurden die Akzeptanzkriterien für Energietechnologien wie Risi-

<sup>11</sup> Die Untersuchungen sind im Teilbericht zu wirtschaftswissenschaftlichen Aspekten dokumentiert.

kowahrnehmung, Regionalität, Zentralität versus Dezentralität, indirekte Technologiewirkungen, konkurrierender wirtschaftlicher Nutzen und konkurrierende Güter betrachtet (Abbildung 14). Im Ergebnis erscheint eine frühzeitige, offene und ehrliche Informationspolitik förderlich für eine breite gesellschaftliche Akzeptanz.<sup>12</sup>

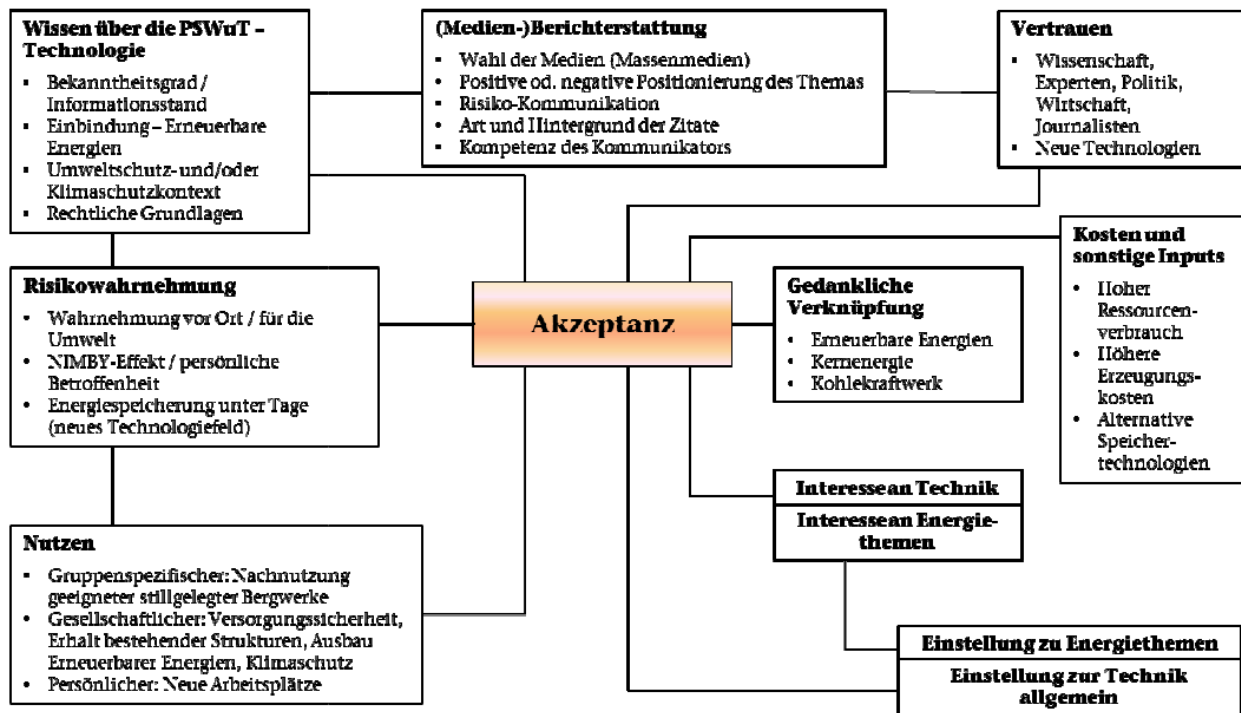


Abbildung 14: Einflussfaktoren für die gesellschaftliche Akzeptanz des Pumpspeicherwerks unter Tage – Quelle: IfW nach Fischechick et. al.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Errichtung einer Pilotanlage am Wiemannbuchttschacht grundsätzlich aus markscheiderischer, geomechanischer, bergmännischer, maschinen- und energiesystemtechnischer sowie aus rechtlicher und wirtschaftlicher Sicht bei sorgfältiger Beachtung der Umweltfolgen und Akzeptanz möglich erscheint. In weiteren Schritten sollte eine Pilotanlage detailliert geplant und im Hinblick auf einen Business Case bewertet werden.

### 4.3 Erzbergwerk Pöhla

Die Systematik der für den Standort Bad Grund entwickelten Untersuchungsschritte zur Einschätzung der Eignung zur Nachnutzung als Pumpspeicherwerk unter Tage wurden auch für das Erzbergwerk Pöhla angewendet:<sup>13</sup>

1. Auswertung des markscheiderischen Risswerks
2. geomechanische Abschätzung
3. bergmännische Planung
4. Maschinen- und energiesystemtechnische Auslegung
5. (genehmigungs-)rechtlicher Rahmen
6. Umweltfolgenabschätzung
7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen
8. Akzeptanz

<sup>12</sup> Nähere Ausführungen zur Akzeptanz sind im Teilbericht zu wirtschaftswissenschaftlichen Aspekten zu finden.

<sup>13</sup> Die einzelnen Untersuchungen und deren Ergebnisse sind in den jeweiligen Teilberichten im Anhang dokumentiert.

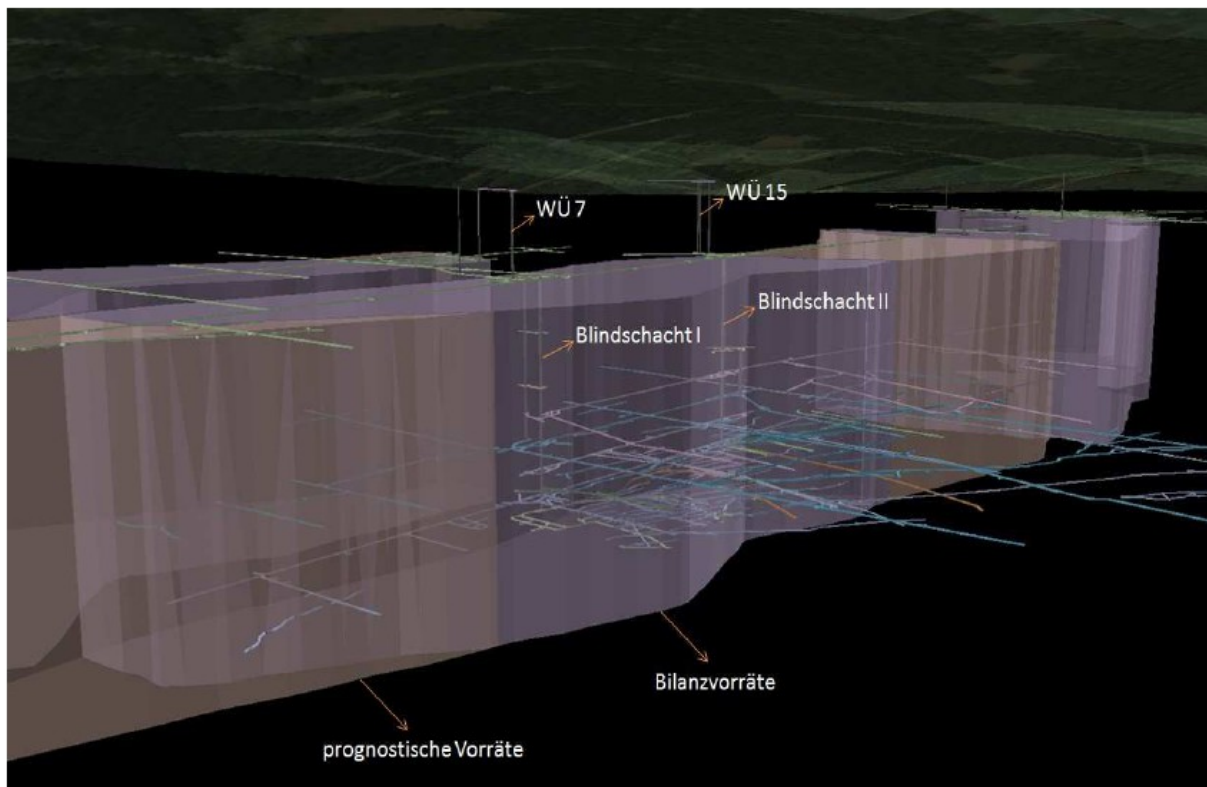


Abbildung 15: Das Grubengebäude Pöhla mit den Bilanzvorräten (braun) und prognostischen Erzvorräten (lila)  
Quelle: IGMC

Das ehemalige Erzbergwerk Pöhla befindet sich in der Nähe der Orte Pöhla und Rittersgrün im oberen Westergebirge in ca. 1 km Entfernung von der tschechischen Grenze gehört derzeit zur Wismut GmbH. Es zeichnet sich durch sehr standfestes Nebengestein, relativ große Teufen und große, offene Grubenräume aus. Bis 1990 wurden verschiedene Metallerze, u.a. Uran- und Silbererze abgebaut. Nach der Stilllegung wurde die Grube durch zusetzende Wässer geflutet. Drei Besonderheiten sind bei der Planung zu berücksichtigen (vgl. [4]):

1. Im Bereich des Bergwerks ist eine Zinnlagerstätte vorhanden, deren Abbau auch bei einer Nachnutzung als Pumpspeicherwerk unter Tage gewährleistet werden muss (Abbildung 15).
2. Die Erschließung des Bergwerks und der Zugang erfolgt über Blindschächte und einen Tagesstollen (Pöhlstollen), dessen Querschnitte zum Teil weniger als 9 m<sup>2</sup> beträgt.
3. Im ersten Teil des Pöhlstollens liegt ein Besucherbergwerk.

Im Ergebnis der Untersuchungen erscheint auch im Bereich des Erzbergwerks Pöhla eine Nachnutzung grundsätzlich möglich, die aber mit im Vergleich zum Standort Grund mit signifikant höheren Restriktionen und einem entsprechend höheren Aufwand hinsichtlich der Realisierung verbunden sind.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie wurde das Potenzial untersucht, einen Teil der künftig für die Netzintegration der Windenergie notwendigen Energiespeicher im elektrischen Energieversorgungsnetz Deutschlands durch die Nachnutzung von stillgelegten Bergwerken mittels untertägiger hydrodynamischer Pumpspeicherwerke zu decken. Da die ehemaligen Bergwerke nicht für diesen Zweck errichtet wurden, ist es notwendig, sie durch Auffahrungen und Erweiterungen für die neue Aufgabe zu ertüchtigen. Unter den gegebenen Einschränkungen, Kriterien und auf Basis bergmännischer Erfahrungen wurden sechs Bergwerksregionen in Deutschland identifiziert, die für die Errichtung von untertägigen Pumpspeicherkraftwerken gut oder bedingt geeignet sind. Die drei gut geeigneten Regionen sind das Erzgebirge, der Harz sowie das Siegerland und Lahn-



Dill-Gebiet. In diesen Regionen werden nach einer ersten Potenzialschätzung theoretisch bis zu 10 GW installierte Leistung bei bis zu 40 GWh Gesamtspeicherkapazität erwartet.

Dabei stellt die Planung und Errichtung eines derartigen untertägigen Speicherkraftwerks eine besondere Herausforderung dar, wobei die jeweiligen Besonderheiten eine Einzelfallprüfung erfordern. Auf ingenieurwissenschaftlicher Seite müssen geotechnische, bergmännische und markscheiderische Probleme gelöst und die maschinen- und elektrotechnischen Voraussetzungen geschaffen werden. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse sind die Fragen zur Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung zu beantworten sowie insbesondere als Voraussetzung für staatliche Förderungen die ökonomische Vorteilhaftigkeit darzustellen. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens sind insbesondere wasser- und umweltrechtliche Fragestellungen zu beachten. Nach den bisherigen Untersuchungen erscheint die Technologie Pumpspeicherwerke unter Tage vor dem Hintergrund des zusätzlichen Speicherbedarfs für die Netzintegration von Windenergie erfolgversprechend. Auch rechtlich, umweltplanerisch und wirtschaftlich erscheint die Errichtung möglich.

Beispielhaft wurden zwei Bergwerke, dem ehemaligen Erzgruben Grund im Harz und Pöhla im Erzgebirge auf eine Nachnutzung für ein Pumpspeicherwerk unter Tage untersucht. In beiden Fällen erscheint eine Realisierung technisch möglich. Im Ergebnis stellen sich die größeren Herausforderungen aufgrund der Rohstoffsicherung, des Zugangs, hinsichtlich der Umwelt- und Akzeptanzfragen im Vergleich der beiden Standort am Standort Pöhla.

## 6 Literatur

- [1] Energietechnische Gesellschaft im VDE: Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger – Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf. Frankfurt, Energietechnische Gesellschaft im VDE, 2009.
- [2] Giesecke, J.; Mosonyi, E.: Wasserkraftanlagen Planung, Bau und Betrieb, 5., aktualisierte und erw. Aufl. - Berlin [u.a.] : Springer, 2009
- [3] Slotta, R.; Stedingk, K.; Steinkamm, U.: Der Blei-Zink-Erzbergbau von Bad Grund, Harz. Haltern/Westf., Bode, 1987
- [4] Wismut GmbH: Chronik der WISMUT. Wismut GmbH, 2011

## 7 Kurzfassungen der Teilberichte

### 7.1 Geomechanische Aspekte

*U. Dusterloh*

Die Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens hat die Möglichkeit der Zwischenspeicherung fluktuierender Windenergie durch untertägige Pumpspeicherwerke in alten Bergwerken zum Ziel. Eine Voraussetzung für die grundsätzliche Machbarkeit der genannten Zielstellung ist die Standsicherheit der untertägig aufzufahrenden Hohlräume für die Wasserspeicherung, die Installation von Turbine und Generator sowie alle weiterhin erforderlichen Verbindungsgrubenbaue.

Wesentliche die Standsicherheit untertägiger Grubenbaue bestimmende Kriterien sind die Gesteins- und Gebirgsfestigkeit, der Gebirgsaufbau, das Spannungs-Verformungsverhalten sowie die hydraulischen Eigenschaften von Gestein und Gebirge, der primäre Spannungszustand, die Teufenlage der Grubenbaue und ihre Entfernung zu Abbauen des ehemaligen Bergbaus, die Auffahrtechnik und schließlich die Tragwirkung von ggf. erforderlichem Unterstützungsausbau. Unter Berücksichtigung der vorstehend genannten Einflussgrößen sind im Rahmen des Teilvorhabens geomechanische Berechnungen zum Gebirgstragverhalten und zur Standsicherheit eines im Wesentlichen durch die Auffahrung paralleler Strecken mit 30 m<sup>2</sup> Querschnitt charakterisierten untertägigen Pumpspeicherwerkes auf der Grundlage empirischer, analytischer und numerischer Berechnungen durchgeführt worden.

Ziel der Berechnungen war es, für die Referenzstandorte Bad Grund und Pöhla – Tellerhäuser ungeachtet der nur rudimentär bzw. nicht verfügbaren Daten zu den mechanischen und hydraulischen Eigenschaften

des anstehenden Gebirges, erste Einschätzungen zur grundsätzlichen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes aus geomechanischer Sicht zu erarbeiten. Im Ergebnis der rechnerischen Einschätzungen konnte gezeigt werden, dass die Untersuchungen keine Hinweise ergeben, die einer möglichen Realisierung des Projektes widersprechen. Bezüglich der erforderlichen Ausbauanforderungen und der standortbezogen optimalen geometrischen Konfiguration eines untertägigen Pumpspeicherwerkes können ohne vertiefende Feld- und Laboruntersuchungen zur Ermittlung der standortspezifischen Materialeigenschaften des Gebirges keine Aussagen getroffen werden.

## **7.2 Markscheiderische und bergmännische und Aspekte**

*W. Busch, O. Langefeld, W. Lampe, J. Gorczyk, N. Jarrah, S. Mahr, F. Xi*

Der erste Teil der Arbeit hat ergeben, dass große Potentiale zur Nachnutzung stillgelegter Bergwerke in Form eines Pumpspeicherwerkes unter Tage in Deutschland in denjenigen Regionen gegeben sind, in denen historisch betrachtet Erzbergbau betrieben wurde. In diesen Regionen hat sich herausgestellt, dass aufgrund der vorgefundenen Geologie und aufgrund der verwendeten Abbauverfahren ein prinzipielles Potential vorhanden ist. Das Alter der Bergwerke und damit verbunden die Größe der Strecken und vor allem auch der Schächte ist für eine potentielle Errichtung eines PSW-unter-Tage entscheidend. Durch eine Neuauffahrung der Speicherbecken im unverritzten, also durch Abbaueinflüsse unberührten, Gebirge ist ein entsprechend großes Speichervolumen zu schaffen.

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse in dem ersten Arbeitsteil wurden zwei Pilotbergwerke im Harz (Erzbergwerk Grund) und im Erzgebirge (Erzbergwerk Pöhla) ausgewählt. Für jedes Bergwerk wurden anhand der zahlreich vorhandenen Risswerke zwei 3-D Modelle in ArcGis und Vulcan erstellt. Auf Grundlage der ArcGis Modelle wurden die geografischen Grenzen wie Schutzgebiete, alte Abbaugelände sowie Störungszone und deren Abstand zu den potenziellen PSW-unter-Tage-Komponenten untersucht. Dabei wurde die grobe Lage dieser Komponenten bestimmt. Anhand der Software Vulcan wurde das Bergwerk konstruiert und ein detailliertes PSW-unter-Tage-Konzept durchgeplant. Anschließend wurden die Lage und das Volumen der neu aufzufahrenden Hohlräume bestimmt. Dabei fanden das Bewetterungs- sowie Fluchtkonzept eine besondere Berücksichtigung. Die einzelnen Arbeitsschritte für die Herstellung der Hohlräume wurden bestimmt. Anschließend wurde das Fließverhalten des Wassers in den Speicherbecken anhand der Software ANSYS simuliert.

In dem Modellbergwerk Grund wird bei der Vier-Stunden Variante eine mittlere Fallhöhe von 700 m und  $307.800 \text{ m}^3$  Speichervolumen erzielt, wovon nur ca.  $242.000 \text{ m}^3$  nutzbar sind. In der Zwei-Stunden Variante wird ein Speichervolumen von  $157.500 \text{ m}^3$  erzielt. In Pöhla wird eine mittlere Fallhöhe von 600 m erzielt. Für die Speicherbecken müssen Hohlräume mit einem Gesamtvolumen von  $345.000 \text{ m}^3$  aufgefahren werden, wobei nur  $307.000 \text{ m}^3$  davon als nutzbares Volumen bezeichnet werden kann. In der Zwei-Stunden Variante wird ein Speichervolumen von  $172.500 \text{ m}^3$  erzielt.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Nutzung übertägiger Teiche und Seen als Oberbecken oder die Neuanlage eines Oberbeckens über Tage als sog. Hybrid-Lösung. Dadurch verringert sich nicht nur der Auffahrungsaufwand unter Tage, sondern erhöht sich auch durch Vergrößerung der möglichen Fallhöhe die nutzbare Speicherkapazität des Pumpspeicherwerkes. Ebenso wäre es möglich, ein untertägiges Pumpspeicherwerk nicht nur durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke, sondern ebenfalls durch eine komplette Neuauffahrung zu errichten. Bei einer kompletten Neuauffahrung der Hohlräume kann das Pumpspeicherwerk entsprechend den Erfordernissen angepasst werden sowie ebenfalls der Standort als solches in Grenzen frei gewählt werden.

## **7.3 Maschinentechnische Aspekte**

*A. Lohrengel, G. Schäfer, N. Nagler, L. Meier*

Ziel des Teilprojekts war die Entwicklung eines maschinentechnischen Konzepts für ein untertägiges Pumpspeicherwerk (PSW) durch das Institut für Maschinenwesen (IMW) in Zusammenarbeit mit der Voith AG. Zu den zu bearbeitenden Aufgaben gehörten dabei die Maschinenauslegung, die Simulation der Ge-

samtanlage aus maschinentechnischer Sicht sowie die Berücksichtigung besonderer Erfordernisse, wie z. B. die Instandhaltung der Maschinensätze.

Hierbei sollte der Arbeitspunkt Maschinenauslegung die konstruktive Auslegung der Gesamtanlage sowie die Erarbeitung des Stands der Technik und den Vergleich mit diesem umfassen. Der Stand der Technik zu bereits realisierten PSW in Deutschland stellte dabei die wissenschaftlich-technische Basis für das weitere Vorgehen bei der Erstellung des maschinentechnischen Konzepts dar. Es zeigte sich wie erwartet, dass es bislang keine gänzlich untätigen PSW in Deutschland gibt und somit lediglich auf die Maschinenkaverne und die dort integrierte Maschinentechnik betreffende Informationen für das hiesige maschinentechnische Konzept zurückgegriffen werden konnte. Die letztendliche Auslegung der maschinentechnischen Komponenten erfolgte durch die Voith AG.

Die Arbeiten im Bereich Betriebssimulation fußen auf den durch die Voith AG zur Verfügung gestellten Maschinenkennlinien. Darauf aufbauend sollten die Einzelkomponenten reguliert und abschließend, in Abstimmung mit der Energiesystemtechnik, die Gesamtanlage simulativ in einem Modell abgebildet werden. Im dritten Bereich, den besonderen Erfordernissen an die Konstruktion, sollten beispielsweise Fragen der Instandhaltung (Life-Cycle Maschinentechnik) behandelt und Erfordernisse erwogen werden, welche sich im Zusammenhang mit der Installation und Inbetriebnahme eines untätigen PSW ergeben.

Im Fokus der Arbeiten der Projektaufstockung sollte die Anwendung der Erkenntnisse aus dem ersten Projektteil auf zwei potentielle Standorte für untätige PSW stehen. Hier war eine enge Zusammenarbeit mit den anderen Teildisziplinen unabdingbar. Unter aus dem Bereich Bergbau vorgegebenen Randbedingungen war eine Adaptierung des maschinentechnischen Konzepts auf diese Standorte vorzunehmen. Dabei sollten auch die beiden Optionen einer größtmöglichen Nennleistung versus einer größtmöglichen Entladedauer u. a. aus maschinentechnischer sowie elektrotechnischer Sicht verglichen werden. Aus den Erkenntnissen aus der Maschinentechnik ergaben sich wiederum Anforderungen an die Elektrotechnik sowie den Bergbau. Des Weiteren bildeten die für die Maschinentechnik zu erwartenden Kosten einen wichtigen, für den Bereich der Wirtschaftswissenschaften zur berücksichtigenden Faktor bei der Abschätzung der Gesamtkosten des untätigen PSW.

Von Seiten des Teilprojekts Maschinentechnik kann zusammenfassend festgestellt werden, dass alle oben aufgeführten Aufgaben bearbeitet und erfolgreich abgeschlossen worden sind. Die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse in den Bereichen Erstellung eines maschinentechnischen Konzepts, Simulation der Gesamtanlage sowie der besonderen Erfordernisse an die Konstruktion werden vorgestellt.

Mit Hinblick auf den Bau einer möglichen Pilotanlage an einem der hier näher untersuchten Standorte ist für eine Realisierung nicht nur, wie hier im Rahmen der Projektaufstockung geschehen, eine Adaptierung des allgemeinen maschinentechnischen Konzepts auf den Standort erforderlich, sondern eine „maßgeschneiderte“ Neuauslegung der Maschinentechnik unter detaillierter Berücksichtigung örtlicher Randbedingungen als dies während der Projektlaufzeit möglich war.

## **7.4 Energiesystemtechnische Aspekte**

*E.-A. Wehrmann, A. Mbuy, S. Nakhaie*

Im Rahmen dieser Studie wurden die energiesystemtechnischen Rahmenbedingungen zur Netzintegration erneuerbarer Energien untersucht, speziell am Beispiel der Kopplung zwischen (Offshore-) Windkraftanlagen und unterirdischen Pumpspeicherwerken über das öffentliche Energieversorgungsnetz. Diese Kopplung wird anhand eines Energiemanagementsystems konzipiert, bei dem verschiedene Kopplungsmöglichkeiten energietechnisch simuliert und untersucht werden. Dabei wurde auch gemeinsam mit dem Institut für Wirtschaftswissenschaft eine ökonomische Bewertung einbezogen.

Anhand von Daten zu Netzengpässen und Studien zur weiteren Entwicklung des öffentlichen Energieversorgungsnetzes wurden Kriterien zur Einschränkung der Suche nach geeigneten Standorten für untätige Pumpspeicherwerke entworfen und mit den Ergebnissen der anderen Projektpartner abgestimmt. Nach Auswahl der Standorte wurden anhand der Auslegungs- und Standortdaten unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Rahmendaten die erreichbaren Leistungs- und Energiedaten ermittelt.

Mit Hinblick auf den Bau einer möglichen Pilotanlage wurde unter Berücksichtigung der Randbedingungen für zwei der hier näher untersuchten Standorte ein erstes energiesystemtechnisches Konzept entworfen. Für die Realisierung einer Pilotanlage ist eine detaillierte Weiterentwicklung und Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten notwendig.

## **7.5 Juristische Aspekte**

*H. Weyer, U. Lindemann*

Ein unterirdisches Pumpspeicherwerk ist bislang in Deutschland nicht realisiert worden. Daher liegen keine Erfahrungen hinsichtlich der rechtlichen Einordnung eines solchen Vorhabens vor. Im Rahmen dieses Teilberichts erfolgen daher grundlegende Darstellungen zu genehmigungsrechtlichen, eigentumsrechtlichen, energierechtlichen sowie haftungsrechtlichen Fragestellungen. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die Genehmigungsbedürftigkeit sowie deren Voraussetzungen gelegt, insbesondere nach immissionsschutzrechtlichen, bergrechtlichen, wasserrechtlichen, baurechtlichen, abfallrechtlichen und energiewirtschaftsrechtlichen Vorschriften sowie nach dem Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).

Eine Genehmigung erscheint nach dem derzeitigen Rechtsrahmen grundsätzlich möglich. Unbefriedigend ist allerdings, dass die bergrechtlichen Regelungen ein unterirdisches Pumpspeicherwerk nur am Rande erfassen. Zudem ist die Anwendbarkeit insbesondere wasserrechtlicher und UVP-rechtlicher Vorschriften, die für die Genehmigung wesentliche Bedeutung haben, teilweise ungeklärt. Die Prüfung der beiden Modellbergwerke Grund und Pöhla verdeutlicht, dass jedes untertägige Pumpspeicherwerk einer Einzelfallbetrachtung bedarf, da die genehmigungsrechtliche Situation standortabhängig ist. Aus verfahrensrechtlicher Sicht sind angesichts des Umfangs von Pumpspeichervorhaben konzentrierte Genehmigungsverfahren wünschenswert, d.h. eine gemeinsame Behandlung der Genehmigungsanforderungen in einem Verwaltungsverfahren. Insoweit können nach derzeitiger Rechtslage Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren nach § 20 UVPG hinsichtlich der Speicherbecken und möglicherweise nach §§ 67, 68 WHG hinsichtlich der Grundwasserhaltung Anwendung finden. Zudem sind konzentrierte Verfahren hinsichtlich der Netzanbindung durch Freileitung und hinsichtlich einer Aufhaldung von Gesteinsaubhub vorgesehen.

In einem zweiten Abschnitt werden eigentumsrechtliche Fragestellungen erörtert. Hindernisse für die Realisierung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks können sich insbesondere durch entgegenstehendes Bergwerkseigentum oder Bewilligungen sowie aufgrund der Befugnisse des Oberflächeneigentümers gegenüber der Tiefennutzung seines Grundstücks ergeben. Sofern keine Einigung mit den Eigentümern der durch ein unterirdisches Pumpspeicherwerk betroffenen Grundstücke bzw. mit Bergwerkseigentümern erzielt werden kann, wären in letzter Konsequenz enteignungsrechtliche Möglichkeiten zu prüfen.

Aus energiewirtschaftsrechtlicher Sicht wird in einem dritten Abschnitt insbesondere die Frage nach Netzanchluss sowie Netzzugang erörtert. Möglich ist bei einer Nennleistung ab 100 MW nach hier vertretener Ansicht ein Rückgriff auf die privilegierenden Regelungen der KraftNAV. Die Regelungen des EEG sind in aller Regel nicht anwendbar. In einem vierten Abschnitt wird auf zivilrechtliche Haftungstatbestände eingegangen, die insbesondere an die Auswirkungen von Errichtung und Betrieb auf die Erdoberfläche sowie auf die Wasserbeschaffenheit anknüpfen können. Zudem kann sich eine öffentlich-rechtliche Verantwortlichkeit nach dem Umweltschadengesetz (USchadG) ergeben.

Schließlich wird überblicksartig aufgezeigt, welche Unterschiede sich genehmigungsrechtlich ergeben würden, wenn nur eines der Speicherbecken untertägig, das andere aber oberirdisch angelegt wird (Hybridlösung).

## **7.6 Aspekte aus Umweltsicht**

*K. Runge, T. Wachter*

Bei Bau, Anlage und Betrieb eines unterirdischen Pumpspeicherkraftwerks können Umweltkonflikte dem Vorhaben entgegenstehen. Der Grad der Unverträglichkeiten hängt von der technischen Ausführung des PSW-unter-Tage, dem konkreten Standort und den betroffenen Schutzgütern ab. Im Vorhaben wurden die

einer Umweltverträglichkeitsprüfung üblicherweise zugrunde liegenden Themen und Fragestellungen hinsichtlich der Realisierungsmöglichkeiten eines PSW-unter-Tage betrachtet. Vor-Ort-Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

Bergwerksstandorte sind vielfach Altlastenstandorte. Dabei beschränken sich die Hinterlassenschaften der ehemaligen Fördertätigkeit nicht nur auf die Abraumhalden, sondern finden sich vielerorts im Boden und v.a. auch in den Gewässersedimenten. Der Bau und der Betrieb eines PSW-unter-Tage kann abgelagerte Schadstoffe remobilisieren. Ein zentraler Punkt der Folgeuntersuchungen ist daher die Prüfung möglicher Auswirkungen auf den Wasserhaushalt in Grund- und Oberflächengewässern.

Ein PSW-unter-Tage greift u.a. durch das Abpumpen des Flutungswassers in der Bauphase, durch die betriebliche Entnahme von Wasser und durch die ständige Wasserhaltung in der Betriebsphase in den Wasserhaushalt ein. Die europarechtlich vorgeschriebenen Umweltqualitätsanforderungen an die Aufrechterhaltung bzw. Herstellung eines chemisch ökologisch und mengenmäßig guten Gewässerzustandes wird sich dabei als eine hohe Genehmigungshürde erweisen. Die toxische Qualität des Flutungswassers eines Bergwerks hat in diesem Zusammenhang zentrale Aussagekraft, denn die Reinigung von ggf. Mill. m<sup>3</sup> belasteten Flutungswassers ist auch eine wirtschaftlich schwer zu bewältigendes Hindernis. Wasserschutzgebiete sollten durch ein PSW-unter-Tage nicht in Anspruch genommen werden.

Aus einer möglichen Mobilisierung von toxischen Schwermetallen und Radionukliden in Boden und Wasserläufen, als auch aus der Freisetzung von radioaktiven und toxischen Gasen und Stäuben entstehen erhebliche Gesundheitsrisiken im Bergwerk selbst, als auch in seiner Umgebung sowie an den Unterläufen von Vorflutern. Unter Umweltaspekten sollten daher insbesondere ehemalige Uranbergwerksstandorte nicht für eine Nachnutzung als PSW-unter-Tage näher in Betracht gezogen werden.

Altbergwerke befinden sich vielfach in renaturierten Gebieten mit hohem Erholungswert. Unter Landschaftsbildaspekten sollten daher so wenig Hochbauten wie möglich neu errichtet werden. Stromleitungen sind nach Möglichkeit als Erdkabel zu konzipieren.

## **7.7 Wirtschaftswissenschaftliche Aspekte**

*M. Erlei, A.-K. Dimmig, C. Neumann*

Als ein Lösungsbeitrag im Hinblick auf die resultierenden Herausforderungen der fluktuierenden Energiequellen ist die Konzeption eines untertägigen Pumpspeicherwerks (PSWuT) in stillgelegten Bergwerken auf kostentechnische und wirtschaftliche Gesichtspunkte zu untersuchen. Einen weiteren Schwerpunkt der Teilstudie bildet die Akzeptanzforschung.

Nach Vorstellung möglicher Flexibilisierungsoptionen wird in einem Kostenvergleich von potenziellen Speichertechnologien dargestellt, dass zukünftig verschiedene Energiespeicher mit Energiedurchsatzkosten unter oder bei 10 ct/kWh zur Verfügung stehen könnten. Weiterhin zeigt der Vergleich, dass sich das „konventionelle“ Pumpspeicherwerk als effiziente und wirtschaftlichste Option darstellt. Gleichzeitig muss erwähnt werden, dass die Stand-der-Technik-Variante in Deutschland ein begrenztes Ausbaupotenzial aufweist, was nicht zuletzt auf Akzeptanzgründe zurückzuführen ist.

In einer Kostenbetrachtung für ein PSWuT bildet die Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Kosten einen elementaren Bestandteil. Insbesondere sind die Investitionskosten hervorzuheben, die durch einen Bottom-up-Ansatz ermittelt werden, wobei für die Betrachtungen zwei Modellbergwerke als Grundlage dienen. Die spezifischen Investitionskosten einer betrachteten PSWuT-Variante (100 MW, 400 MWh, Standort Bad Grund) liegen je nach Szenario zwischen 1.654 €/kW und 1.978 €/kW. Die Analyse zeigt, dass unter den gewählten Annahmen im Vergleich zu anderen Speicheralternativen höhere Energiedurchsatzkosten resultieren. Dies ist prinzipiell als Wettbewerbsnachteil einzuordnen. Jedoch müssen bei anderen Speicheroptionen die prognostizierten Kostensenkungspotenziale tatsächlich realisiert werden. Zudem muss bei den noch in Entwicklung befindlichen Technologien die technische Verfügbarkeit hergestellt werden.

Weiterhin werden verschiedene Ansätze von Kostensenkungspotenzialen eines PSWuT aufgezeigt. Insbesondere bei dem Punkt der Maschinensatzdimensionierung, aber auch bei der Fallhöhe bzw. der Lage der Speicherbecken sowie der Planung des Druckschachtes müssen Wirtschaftlichkeitsaspekte unter Berücksich-



tigung von technischen sowie (umwelt-)rechtlichen Restriktionen eine Priorität besitzen. Auch die Hybridlösung, also die Schaffung eines Beckens über Tage, ermöglicht Kosteneinsparungen.

Um zu beurteilen, ob ein PSWuT in den Markt eintreten kann, ist die Erlösseite den Kosten gegenüberzustellen. Die Identifizierung und Analyse der Erlösmöglichkeiten zeigt, dass deutliche Unterschiede in den Vermarktungsalternativen des Speicherstroms bestehen. So ist zum Beispiel der alleinige Handel am Spotmarkt eindeutig nicht ausreichend, damit die investitionsintensive Anlage sich amortisieren könnte. Auch die Blindleistungsbereitstellung sowie das Anbieten der Dienstleistung Schwarzstartfähigkeit sind nicht als Investitionsentscheidungsparameter zu beurteilen. Der Regelenenergiemarkt bietet als Kapazitätsmarkt, bei dem ein Großteil der Erlöse durch die reine Leistungsbereitstellung generiert werden kann, unter Umständen eine interessante Möglichkeit, obgleich die Märkte durch Unsicherheiten eine Investitionsentscheidung erschweren.

Einen weiteren Schwerpunkt der Untersuchung bildet die Akzeptanzforschung. Für eine differenziertere Charakterisierung der Technikakzeptanz wurden verschiedene Technikbereiche betrachtet. Dabei hat sich herausgestellt, dass vor allem im Bereich der großtechnischen Anlagen die Akzeptanz in der Bevölkerung nicht mehr als gegeben vorausgesetzt werden kann bzw. derartige Anlagen in zunehmende Legitimationsschwierigkeiten geraten. Die gesellschaftliche Akzeptanz von Energietechnologien wird insbesondere von der subjektiven Risikowahrnehmung der Individuen beeinflusst. In diesen Zusammenhang gewinnt der emotionale Kontext der Informationsvermittlung für die Risikobeurteilung an Bedeutung. Für die Akzeptanz von Energietechnologien ist zum einen entscheidend, über welche Medien und mit welcher Kommunikationsstrategie das Projekt in die Öffentlichkeit vorgestellt wird, und zum anderen der gewählte Kontext der Informationsvermittlung. Darüber hinaus können Technologien mit zentralem Charakter, wie das PSWuT, eine andere Wahrnehmung in der Bevölkerung hervorrufen als Technologien, die sich über mehrere Regionen erstrecken. Insofern ist der sog. NIMBY-Effekt für die Akzeptanz eines PSWuT nicht zu unterschätzen. Wird das PSWuT in der gewählten Standortgemeinde als NIMBY – Projekt wahrgenommen, ist es nur schwer möglich nachträgliche mit entsprechenden Informationsoffensiven dagegen anzusteuern. Die Charakterisierung der möglichen Akzeptanzprobleme in Bezug auf die Modellbergwerke Grund und Pöhla hat deutlich gemacht, dass die Akzeptanzrisiken vor allem aus den Konkurrenzbeziehungen mit anderen Gütern, wie den Wasserschutzgebieten, dem Denkmalschutz, den physischen Beeinträchtigungen der Umwelt oder dem Schutzgut Mensch erwachsen. Die Standorte Bad Grund und Pöhla weisen sehr komplexe Charakteristika auf, sodass aus den Einzelfallbetrachtungen zu den potentiellen Akzeptanzfragen keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden können. Hinzu kommt, dass die möglichen Einflussfaktoren der Akzeptanzbildung zum derzeitigen Stand der Studie zwar qualitativ benannt werden können, aber deren Quantifizierung und Wichtung für den tatsächlichen Akzeptanzprozess in der Bevölkerung kann erst im Zuge der Realisierung des Pumpspeicherwerks unter Tage vorgenommen werden.

*U. Düsterloh*

## Geomechanische Aspekte



*Foto: EFZN / M. Schmidt*

# **Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke**

**Berichtsteil: Lehrstuhl für Geomechanik und Deponietechnik**

**Version 01**

**Goslar, 31. März 2011**

Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
Am Stollen 19  
38640 Goslar  
Telefon: +49 5321 6855 120  
Telefax: +49 5321 6855 129  
<http://www.efzn.de>



## **Wissenschaftliche Leitung des Berichtsteils**

PD Dr.-Ing. habil. U. Düsterloh  
Institut für Aufbereitung und Deponietechnik, Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik, Technische Universität Clausthal und Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

## **Bearbeiter**

PD Dr.-Ing. habil. U. Düsterloh  
Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik, Technische Universität Clausthal

## **Ansprechpartner bei Rückfragen**

PD Dr.-Ing. habil. Uwe Düsterloh  
Institut für Aufbereitung und Deponietechnik  
Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik  
Erzstraße 20 – 38678 Clausthal-Zellerfeld  
Tel.: 05323 72 2443  
Fax: 05323 72 2341  
Email: [uwe.duesterloh@tu-clausthal.de](mailto:uwe.duesterloh@tu-clausthal.de)

## Über die Autoren

PD Dr.-Ing. habil. Uwe Düsterloh

Institut für Aufbereitung und Deponietechnik, Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik, Technische Universität Clausthal und Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

Wissenschaftliche Laufbahn

1981- 1988	Studium Bergbau an der TU-Clausthal, Abschluss Dipl.-Ing.
1989- 1993	Wiss. Mit. am Institut für Bergbau, Abt. Gebirgsmechanik
1993	Promotion zum Dr.-Ing., Thema: Geomechanische Untersuchungen zum Nachweis der geotechnischen Sicherheit von Deponiekavernen
2009	Habilitation zum Dr.-Ing. habil., Thema: Geotechnische Sicherheitsnachweise für Hohlraumbauten im Salinargebirge unter besonderer Berücksichtigung laborativer Untersuchungen

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Über die Autoren</b>	<b>34</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>35</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>38</b>
<b>2. Konzeptionelle Vorgehensweise</b>	<b>40</b>
<b>3. Bewertung des Tragverhaltens untertägiger Grubenbaue auf der Basis empirischer und analytischer Verfahren</b>	<b>42</b>
3.1 Gebirgsklassifikation nach dem RMR-Verfahren.....	42
3.2 Gebirgsklassifikation nach dem TQI-Verfahren.....	47
3.3 Gebirgsklassifikation nach dem RAG-Verfahren .....	49
3.4 Analytische Berechnungen nach der Methode der Pfeilerdimensionierung.....	52
3.4.1 Pfeilerdimensionierung.....	52
3.4.2 Ermittlung der Pfeilerbelastung .....	52
3.4.3 Ermittlung der Pfeilertragfähigkeit .....	55
3.5 Analytische Berechnung der Spannungsverteilung um kreisförmige Hohlräume ..	57
3.5.1 Elastische Lösung.....	57
3.5.2 Plastische Lösung.....	60
3.6 Analytische Berechnung der Spannungsverteilung um zylindrische Hohlräume ..	61
<b>4. Gebirgsmechanisch relevante Daten der Referenzstandorte</b>	<b>63</b>
4.1 Geologisch-tektonischer Aufbau des Gebirges.....	63
4.1.1 Referenzstandort Bad Grund .....	63
4.1.2 Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser.....	67
4.2 Bergtechnische Befunde .....	74
4.2.1 Referenzstandort Bad Grund .....	74
4.2.2 Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser.....	75
4.3 Festigkeits- und Verformungseigenschaften des anstehenden Gesteins .....	79

4.3.1 Referenzstandort Bad Grund .....	79
4.3.2 Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser.....	82
4.4 Festigkeits- und Verformungseigenschaften des anstehenden Gebirges .....	83
4.4.1 Referenzstandort Bad Grund .....	83
4.4.2 Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser.....	85
<b>5. Rechnerische Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes auf der Grundlage empirischer und analytischer Verfahren</b>	<b>86</b>
5.1 Vorbemerkung.....	86
5.2 Rechnerische Grobeinschätzungen zur geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Referenzstandort Bad Grund .....	92
5.2.1 Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit nach der Methode der Gebirgsklassifikation .....	92
5.2.2 Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit nach der Methode der analytischen Berechnung.....	96
5.2.3 Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit nach der Methode der Pfeilerdimensionierung.....	105
5.2.4 Zusammenfassende Bewertung der rechnerischen Grobeinschätzung zur geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Referenzstandort Bad Grund.....	110
5.3 Rechnerische Grobeinschätzungen zur geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser.....	110
<b>6. Numerische Berechnungen zur geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes an den Referenzstandorten Bad Grund und Pöhla - Tellerhäuser</b>	<b>111</b>
6.1 Theoretisches Berechnungsmodell .....	111
6.2 Rechnerische Untersuchungen zum Tragverhalten.....	122
<b>7. Zusammenfassung und Empfehlungen für das weitere Vorgehen</b>	<b>146</b>

**8. Verzeichnis der verwendeten Unterlagen**

**150**



## **1. Einleitung**

Das Energieforschungszentrum Niedersachsen untersucht im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Kennzeichen FKZ 0325074 geförderten Projektes die Möglichkeit der Zwischenspeicherung fluktuierender Windenergie durch untertägige Pumpspeicherwerke. Im Unterschied zu klassischen Pumpspeicherwerken, bei denen die Anlage der zur Wasserspeicherung erforderlichen Ober- und Unterbecken im Bereich der Tagesoberfläche mit entsprechend großflächigen Eingriffen in die Umwelt erfolgt ist hierbei beabsichtigt, sowohl die Speicherbecken als auch die Kraftstation untertägig im Bereich alter Bergwerke zu errichten. Soweit möglich sollen dabei Teile der alten Bergwerke nachgenutzt werden, wesentliche Teile des Pumpspeichers aber auch neu aufgefahren werden. Die für notwendig erachteten Neuauffahrungen betreffen die Maschinenkammer als tiefsten Grubenraum des Bergwerks, die Druckrohrleitung zwischen Ober- und Unterbecken und die für das Oberbecken erforderlichen Grubenräume. Die Realisierung des Unterbeckens kann abhängig von den standortbezogenen Gegebenheiten entweder durch eine geeignete (hydraulische) Verbindung bestehender Grubenbaue realisiert werden, oder ist ebenfalls durch Neuauffahrungen zu realisieren. Eine Voraussetzung für die grundsätzliche Machbarkeit der vorstehend genannten Zielsetzung ist die Standsicherheit der untertägig aufzufahrenen Grubenbaue, d.h. der  $\pm$  söhligen Hohlräume für die Wasserspeicherung in einem Ober- und einem Unterbecken, die  $\pm$  seigeren Hohlräume für die Verbindung von Ober- und Unterbecken, die Hohlräume für die Installation von Turbine und Generator inkl. Versorgungseinrichtungen unterhalb des Unterbeckens sowie alle weiterhin erforderlichen Verbindungsgrubenbaue zur Gewährleistung der betrieblichen und sicherheitlichen Anforderungen der Gesamtanlage. Wesentliche, die Standsicherheit untertägiger Grubenbaue bestimmende geogene Kriterien sind insbesondere

- \* die Gesteinsfestigkeit (minimalspannungsabhängige Bruch- und Dilatanzfestigkeit, Zugfestigkeit, Verformungsmodul, Poissonzahl, Scherparameter)
- \* die Gebirgsfestigkeit (Ausbildung, Abstand, Raumlage, Füllung, Wasserführung von Trennflächen/ Klüften / Störungen)
- \* der Gebirgsaufbau (Raumlage, Mächtigkeit und Schichtung einzelner Homogenbereiche)

- \* das Spannungs-Verformungsverhalten von Gestein und Gebirge (elastisch, plastisch, viskos, klastisch),
- \* die hydraulischen Eigenschaften von Gestein und Gebirge (Porenwasserdruck, Kluftwasserdruck, Durchlässigkeit),
- \* der Primärspannungszustand (isotrop, anisotrop, tektonische Spannungen) und
- \* die Teufe der Grubenbaue (Dichte und Mächtigkeit der überlagernden Gebirgsschichten).

Darüber hinaus sind als die Standsicherheit untertägiger Grubenbaue bestimmende anthropogene Kriterien zu berücksichtigen

- \* die Entfernung der Grubenbaue des Pumpspeicherwerkes zu Abbauen des ehemaligen Bergbaus,
- \* die Tragwirkung von ggf. erforderlichem Unterstützungsausbau und
- \* Auswirkungen der Auffahrung auf das Gebirgstragverhalten (konventioneller Bohr- und Sprengvortrieb, schneidende Auffahrung).

Unter Berücksichtigung der vorstehend skizzierten Kriterien ist die Aufgabe der Geomechanik letztendlich charakterisiert durch drei Fragestellungen wie folgt:

Können die für die Anlage eines untertägigen Pumpspeicherwerkes erforderlichen Grubenbaue langfristig standsicher realisiert werden?

Welche geometrische Konfiguration (Länge, Breite, Höhe, Raumlage) der Grubenbaue ist abhängig von den geologischen, tektonischen, hydraulischen, mechanischen und bergbaulichen Standortgegebenheiten geeignet, die standsicherheitlichen Anforderungen zu erfüllen?

Ist zur Gewährleistung der Standsicherheit ein Unterstützungsausbau erforderlich und welche Qualität muss dieser ggf. ausweisen?

Die inhaltliche Bearbeitung der vorstehend skizzierten Fragestellungen erfolgt im Rahmen der Projektstudie FKZ 0325074 durch drei Arbeitspakete:

AP1:

Zusammenstellung und Analyse wichtiger geomechanischer Aspekte für die Nutzung alter Bergwerke als potentielle Pumpspeicherwerke, Grobbewertung von alten Bergwerken (Harz und Erzgebirge) aus geomechanischer Sicht im Sinne des Gesamtprojektes.

AP2:

Konkrete Analyse eines ausgewählten Bergwerkes aus dem Harz-Revier aus geomechanischer Sicht in Abstimmung mit den Verbundpartnern.

AP3:

Konkrete Analyse eines ausgewählten Bergwerkes aus dem Erzgebirge aus geomechanischer Sicht in Abstimmung mit den Verbundpartnern.

## **2. Konzeptionelle Vorgehensweise**

In Anlehnung an die unter AP1 definierten Zielstellungen werden im nachfolgenden Abschnitt 3 zunächst ausgewählte empirische und analytische Verfahren der Gebirgsmechanik und Ingenieurgeologie vorgestellt, mit denen eine erste Grobbewertung des Gebirgstragverhaltens bzw. standsicherheitlich möglicher Grubenraumkonfigurationen vorgenommen werden kann. Unterschieden wird dabei zwischen so genannten Gebirgsklassifikationsverfahren, Verfahren zur Dimensionierung von Kammer-Pfeiler-Systemen und analytischen Verfahren zur Berechnung der Spannungsverteilung im Umfeld kreisförmiger und zylindrischer Hohlräume im homogenen Gebirge. Die vorstehend genannten Verfahren sind charakterisiert durch weitgehende Idealisierungen des tatsächlich komplexen dreidimensionalen Tragverhaltens untertägiger Grubenbaue. In der Konsequenz sind sie nicht bzw. nur bedingt geeignet den raum- und zeitabhängigen Spannungs- und Verformungszustand im Gebirge unter Berücksichtigung komplexer geologischer, tektonischer, mechanischer, hydrologischer und bergbaulicher Einwirkungen zu berechnen. Der Vorteil ihrer Anwendung basiert vielmehr auf der Möglichkeit, grundsätzliche Aussagen zum Tragverhalten untertägiger Hohlraumstrukturen mit einem gegenüber numerischen Berechnungsverfahren vergleichsweise geringen zeitlichen und rechentechnischem Aufwand abzuleiten. Dem Nachteil der verfahrensimmanenten Unschärfe der Aussagen steht dagegen der Vorteil einer auch bei defizitärer geomechanischer Datenbasis möglichen Grobbewertung mit vergleichsweise geringem rechentechnischem Aufwand gegenüber. Vorstehende Aussage gilt umso mehr, als die Zielsetzung und der Bearbeitungsstand des Forschungsprojektes charakterisiert sind durch eher grundsätzliche Fragestellungen zur Machbarkeit ohne die Möglichkeit einer vertieften Erkundung und Analyse der geomechanisch relevanten Gebirgsverhältnisse. Auch bleibt im Vorgriff auf die Zusammenstellung der vorliegenden geomechanisch relevanten Informationen zu den ausgewählten Referenzstandorten zu berücksichtigen, dass für die Mehrzahl der im Rahmen einer rechnerischen Analyse der Tragverhältnisse erforderlichen Parameter zum

Gebirgsbau und den mechanischen und hydraulischen Eigenschaften des anstehenden Gebirges in Ermangelung entsprechender Unterlagen nur Schätzwerte für eine erste Grobbewertung des Tragverhaltens angenommen werden können. Dessen ungeachtet sollen die Einschätzungen zur grundsätzlichen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes über eine nur verbal-argumentative Betrachtung hinausgehend auf der Grundlage rechnerischer Untersuchungen begründet dargelegt werden.

Die für die Anwendung der analytischen und empirischen Verfahren erforderlichen Eingangsdaten für die Referenzstandorte Harz (AP2) und Erzgebirge (AP3) werden - soweit aus Unterlagen zur Geologie, Hydrologie und Bergbauhistorie verfügbar - in Abschnitt 4 zusammengestellt. Für die aus den Unterlagen nicht verfügbaren Eingangsdaten werden zunächst Einschätzungen getroffen, die bei einer geplanten Fortführung des Projektes gegenständlich zu belegen sind.

Aufbauend auf den Ausführungen der Abschnitte 3 und 4 erfolgt in Abschnitt 5 eine rechnerische Analyse des Tragverhaltens auf der Grundlage analytischer und empirischer Verfahren unter Berücksichtigung der für die Referenzstandorte Harz (Lokation Bad Grund) und Erzgebirge (Lokation Pöhla - Tellerhäuser) gegebenen bzw. eingeschätzten Gebirgseigenschaften. Entsprechend den energetischen und wirtschaftlichen Planungsgrößen wird dabei ein Mindestvolumen für Ober- und Unterbecken von  $V_{\min} = 320.000 \text{ m}^3$  unterstellt, welches innerhalb eines Zeitinkrementes von  $\Delta t = 4 \text{ h}$  über eine Teufendifferenz von  $\Delta z_{\min} = 500 \text{ m} - 600 \text{ m}$  gehoben bzw. verstürzt werden muss.

Nachdem durch die Ausführungen in Abschnitt 5 ein erster Grobentwurf für untertägige Pumpspeicherwerke an den Referenzstandorten Harz (Bad Grund) und Erzgebirge (Pöhla - Tellerhäuser) erarbeitet worden ist, dokumentiert Abschnitt 6 die Arbeiten zur Entwicklung eines numerischen Berechnungsmodells für die Referenzstandorte Bad Grund und Pöhla - Tellerhäuser. Ziel der numerischen Berechnungen ist es, die auf der Basis analytischer und empirischer Verfahren entwickelten Grobplanungen einer vertieften geomechanischen Analyse hinsichtlich Tragverhalten und Standsicherheit zuzuführen. Dabei sollen besonders beanspruchte Gebirgsbereiche aufgezeigt und die Sensitivität des Tragverhaltens auf eine Variation der Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Gebirges im Rahmen erster Parameterstudien untersucht werden. Hierbei besonders zu berücksichtigen ist, dass die für eine numerische Berechnung erforderlichen Eingangsdaten zum Gebirgsbau, zum Primärspannungszustand und zum festigkeitsmechanischen Verhalten

des anstehenden Gebirges nicht bzw. nur sehr defizitär vorliegen. Vor diesem Hintergrund ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass im Ergebnis der numerischen Berechnung lediglich ein vertieftes Verständnis des räumlichen Tragverhaltens und der Sensitivität des Tragverhaltens auf zumindest ausgewählt variierte geomechanische Randbedingungen ermöglicht wird, nicht jedoch der für eine konkrete Projektrealisierung erforderliche Nachweis der Standsicherheit erbracht wird. Eine diesbezügliche Aussage bleibt späteren Arbeiten vorbehalten, in deren Rahmen zunächst die das Tragverhalten bestimmenden Einwirkungen und Parameter durch geeignete Erkundungsverfahren, in situ Messungen und Laboruntersuchungen standortbezogen zu belegen sind und darauf aufbauend detaillierte rechnerische Analysen zum raum- und zeitbezogenen Tragverhalten durchgeführt werden müssen.

Eine Gesamtschau der aus den empirischen, analytischen und numerischen Berechnungen abgeleiteten Einschätzungen zum Gebirgstragverhalten und zur Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes aus geomechanischer Sicht erfolgt im abschließenden Kapitel 7. Ziel hierbei ist es, durch eine vergleichende Gegenüberstellung der nach unterschiedlichen Bemessungsverfahren abgeleiteten Aussagen Empfehlungen für das weitere Vorgehen abzuleiten.

### **3. Bewertung des Tragverhaltens untertägiger Grubenbaue auf der Basis empirischer und analytischer Verfahren**

#### **3.1 Gebirgsklassifikation nach dem RMR-Verfahren**

Gebirgsklassifikationsverfahren bestimmen die Standfestigkeit untertägiger Hohlräume, indem sie Einflussfaktoren auf die Verbandsfestigkeit durch Bewertungszahlen erfassen. Die Bewertungszahlen sind durch einfache Rechenoperationen so miteinander verknüpft, dass sie als Ergebnis eine skalare Größe angeben, die Ausdruck für eine bestimmte Gebirgsqualität ist. Ein für den Bereich des untertägigen Bergbaus auf Festgesteine entwickeltes Klassifikationsverfahren ist das so genannte RMR- Verfahren (Rock-Mass-Rating) /1, 2/. Entsprechend der Darstellung in Bild 3.1 werden durch das Verfahren insgesamt fünf Parameter für die Beurteilung des Gebirges herangezogen.

Die Klassifizierung des Gebirges erfolgt durch ein Punktesystem, bei dem die maximale Punktzahl von 100 gleichmäßig auf fünf Gebirgsklassen mit einem Wertebereich von jeweils 20 Punkten verteilt wird.



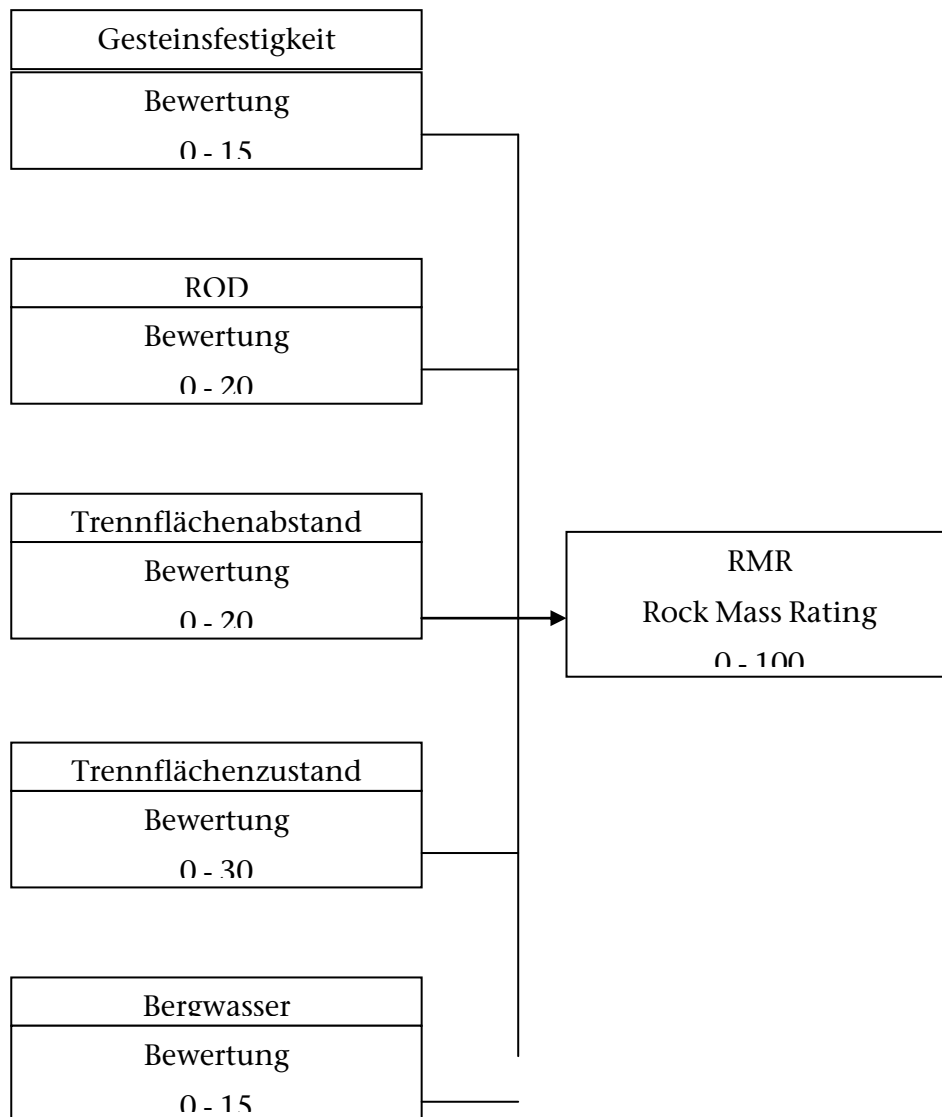


Bild 3.1: Bewertung der Einzelfaktoren zur Ermittlung des RMR-Wertes

Die Charakterisierung des Gebirges erfolgt entsprechend Tab. 3.1 auf der Grundlage eines Bewertungsschemas für die fünf das Tragverhalten des Gebirges charakterisierenden Einflussgrößen Gesteinsfestigkeit, RQD-Wert, Trennflächenabstand, Trennflächenausbildung und Bergwasser wie folgt:

(1) RQD-Wert:

Der RQD-Wert (Rock-Quality-Designation) wird an Bohrkernen von mindestens 42mm Durchmesser ermittelt. Er ist definiert als Quotient aus der additiven Länge aller Bohrkernstückchen von  $L_i \geq 100\text{mm}$  und der Gesamtlänge  $L$  des Bohrkerns.

(2) Einaxiale Druckfestigkeit:

Zur Ermittlung der Bewertungszahl siehe Tab. 3.1.

(3) Abstand von Trennflächen:

Mit Trennflächen werden z.B. Klüfte, Störungen, Schichtungen und Schieferungen bezeichnet, deren Länge den Durchmesser des Hohlraums oder 3m übersteigt. Die Bewertungszahl für den Trennflächenabstand wird aus dem in Bild 3.2 gezeigten Diagramm entnommen. Die Benutzung des Diagramms erfolgt entsprechend der eingezeichneten Pfeilrichtung, wobei die Werte A, B und C den Abstand zwischen Trennflächen aus verschiedenen Trennflächensystemen darstellen. Sind in dem in situ anstehenden Gebirge mehr als drei Trennflächensysteme vorhanden, werden nur die drei Trennflächensysteme mit dem geringsten Trennflächenabstand berücksichtigt.

(4) Ausbildung von Trennflächen:

Die Bewertungszahl für die Ausbildung von Trennflächen berücksichtigt den Verlauf, die Oberflächenbeschaffenheit und die Kluftfüllung der Trennflächen. Durch Multiplikation des Maximalwertes von 30 Punkten mit den in Tab. 3.2 aufgeführten Faktoren für

- a) die großmaßstäbliche Trennflächenbeschaffenheit,
- b) die kleinmaßstäbliche Trennflächenbeschaffenheit und
- c) die Ausbildung der Kontaktzone

wird die Bewertungszahl berechnet ( $-30 \times a \times b \times c$ )

(5) Grubenwasser-/ Grundwasserzufluss:

Zur Ermittlung der Bewertungszahl siehe Tab. 3.1.

Die Summe der unter (1) bis (5) genannten Punktzahlen definiert entsprechend Tab. 3.1 eine Gebirgsklasse zwischen „sehr gut“ (standfestes Gebirge) und „sehr schlecht“ (gebräuchliches Gebirge). Mit der in Bild 3.3 gegebenen Graphik kann schließlich eine Einschätzung möglicher Grubenbauspannweiten und Grubenbaustandzeiten in Abhängigkeit von der ermittelten Gebirgsklasse erfolgen.

Gebirgsklasse		1		2		3		4		5	
Unterklasse		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Bewertungszahl		100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0	
Beschreibung		sehr gut		gut		mittel		schlecht		sehr schlecht	
1	RQD (%)	100 - 91	90 - 76	75 - 66	65 - 56	55 - 46	45 - 36	35 - 26	25 - 16	15 - 6	5 - 0
	Bewertungszahl	20	18	15	13	11	9	7	5	3	0
2	Einaxiale Druckfestigkeit (Mpa)	141 - 136	135 - 126	125 - 111	110 - 96	95 - 81	80 - 66	65 - 51	50 - 36	35 - 21	20 - 0
	Bewertungszahl	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
3	Trennflächenabstand	siehe Bild									
	Bewertungszahl	30									
4	Ausbildung der Trennflächen	siehe Tab.									
	Bewertungszahl	30									
5	Grubenwasser- / Grundwasserzufluss	Zufluss auf 10m Länge = 0 l/min. oder Kluftwasserdruck/größte Hauptnormalspannung = 0 oder vollständig trocken		= 25 l/min. = 0 - 0,2 feucht		= 25 - 125 l/min. = 0,2 - 0,5 mäßiger Druck		> 125 l/min. > 0,5 Lösungsprobleme			
	Bewertungszahl	10		7		4		0			

Tab. 3.1: Gebirgsklassifikation nach dem RMR-Verfahren

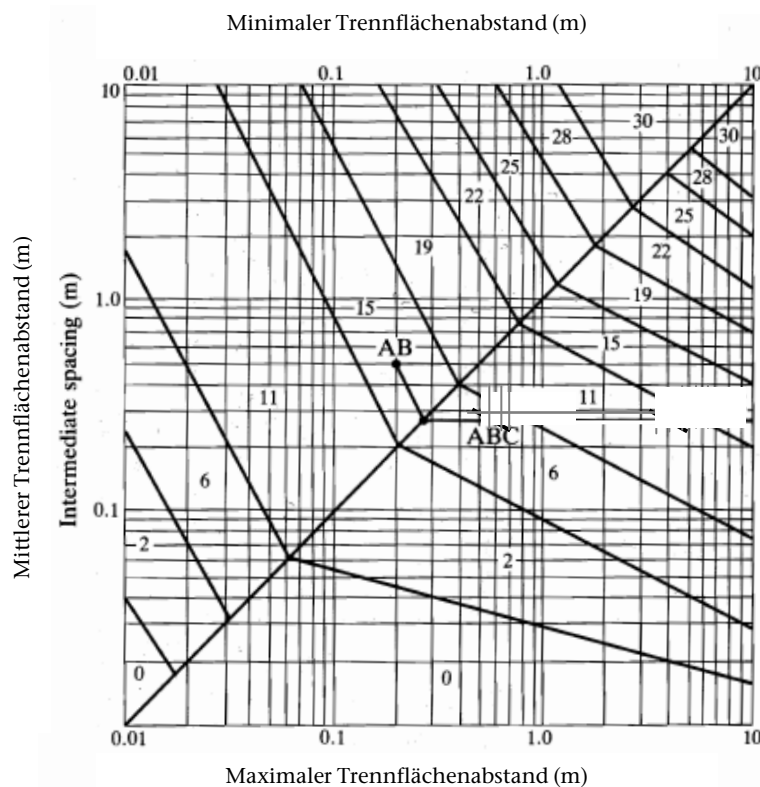


Bild 3.2: Diagramm zur Bestimmung der Bewertungszahl für den Trennflächenabstand

Parameter	Beschreibung	Faktor
Trennflächenbeschaffenheit (großmaßstäblich)	wellenartig, eindimensional	0,99 - 0,90
	gekrümmt	0,89 - 0,80
	gerade	0,79 - 0,70
Trennflächenbeschaffenheit (kleinmaßstäblich)	eng, schmal	0,99 - 0,85
	glatt	0,84 - 0,60
	poliert	0,59 - 0,50
Kontaktzone	weicher als Gebirge	0,99 - 0,70
	grobkörniges Hartgesteinsmehl	0,99 - 0,90
	feinkörniges Hartgesteinsmehl	0,89 - 0,80
	grobkörniges, weiches Gesteinsmehl	0,79 - 0,70
	feinkörniges, weiches Gesteinsmehl	0,69 - 0,50
	Klufttonmächtigkeit < Unebenheiten	0,49 - 0,35
	Klufttonmächtigkeit > Unebenheiten	0,23 - 0,12
	fließendes Material > Unebenheiten	0,11 - 0,00

Tab. 3.2: Faktoren zur Bestimmung der Bewertungszahl für die Trennflächenausbildung

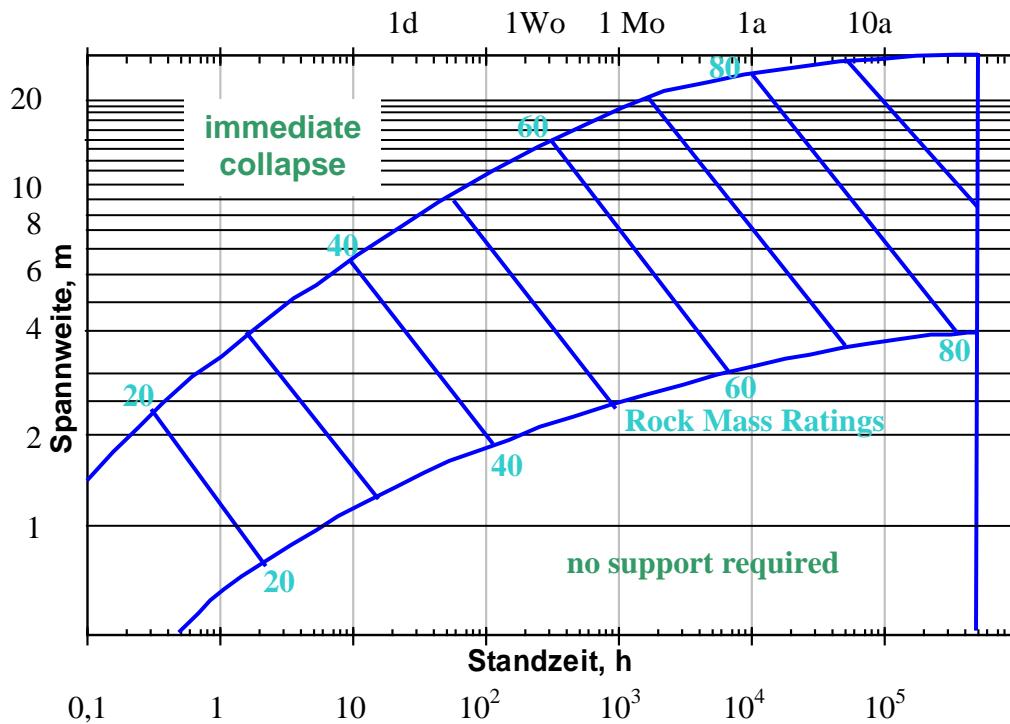


Bild 3.3: Zusammenhang zwischen RMR-Wert, Grubenbauspannweite und unausgebaute Standzeit

### 3.2 Gebirgsklassifikation nach dem TQI-Verfahren

Das 1974 in Norwegen entwickelte TQI-Verfahren (Tunneling Quality Index) /3,4,5/ basiert auf der statistischen Analyse von über 200 untertägigen Hohlräumen. Die der Entwicklung des Verfahrens zugrunde liegenden Untertagebauwerke sind fast ausschließlich langlebige Hohlräume wie Kavernen, Verkehrstunnel, U-Bahnstationen, Verteidigungsbunker und ähnliche Untertagebauwerke. Das TQI-Verfahren definiert eine Gebirgsqualität  $Q$  gemäß Gl. (3.1):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (3.1)$$



mit			negativ		positiv
RQD	Rock Quality Designation	10	-	100	
J <sub>n</sub>	Kluftscharindex		20	-	0,5
J <sub>r</sub>	Kluftrauhigkeitsindex		0,5	-	5
J <sub>a</sub>	Kluftfüllungsindex	20	-	0,75	
J <sub>w</sub>	Kluftwasserindex		0,05	-	1
SRF	stress reduction factor	20	-	0,5	

Darin sind RQD/J<sub>n</sub> ein Maß für die Kluftkörpergröße, J<sub>r</sub>/J<sub>a</sub> ein Maß für die Reibungseigenschaften der Blöcke und J<sub>w</sub>/SRF ein Maß für den Wasserdruck. Q kann Werte zwischen 0,001 und 1000 annehmen; eine Zahl von  $Q \geq 20$  definiert ein gutes Gebirge, eine Zahl von  $Q \leq 0,1$  beispielsweise ein schlechtes Gebirge.

Die maximale unausgebaute Spannweite S kann mit Hilfe von Gl. (3.2) ermittelt werden:

$$S = 2 \cdot ESR \cdot Q^{0,4} \quad (3.2)$$

Der ESR-Wert (Excavation Support Ratio) ist abhängig von der geplanten Aufgabe bzw. Standzeit des Untertagebauwerkes und den damit zusammenhängenden Sicherheitsanforderungen:

Hohlraumkategorie	ESR
Grubenbaue mit begrenzter Lebensdauer	3 – 5
Schächte	2
langlebige Untertagebauwerke	1,6
Kavernen	1,3
Untergrund Kraftstationen	1

Hinweise zur unausgebauten Spannweite, zur Ankerdicke und zur Ankerlänge in Abhängigkeit von der Gebirgsklasse können Bild 3.4 entnommen werden.

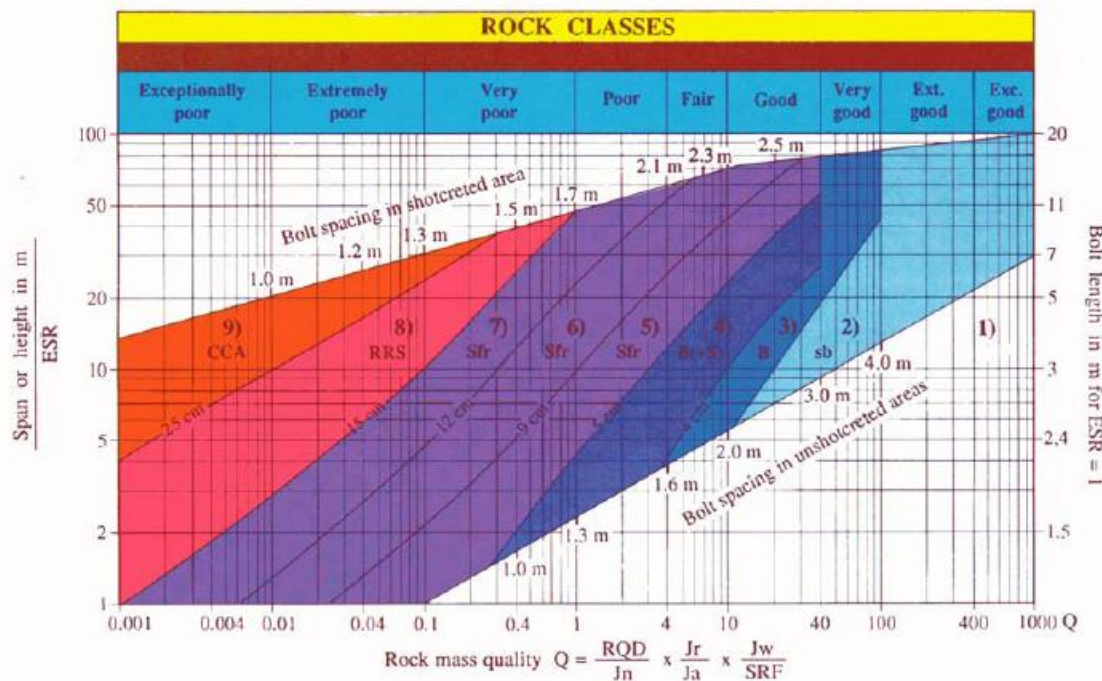


Bild 3.4: Ausbauempfehlungen und unausgebaute Spannweite - TQI-Verfahren

Für eine Umrechnung des TQI-Wertes in den RMR-Wert nennt *Biniawski* in /12/ die mit Gl. (3.3) gegebene Abhängigkeit.

$$RMR = 9 \cdot \ln(Q) + 44 \quad (3.3)$$

### 3.3 Gebirgsklassifikation nach dem RAG-Verfahren

Die nachfolgend als RAG-Verfahren bezeichnete Klassifikation wurde als Betriebsempfehlung für die Planung von Gesteinsstrecken im Deutschen Steinkohlenbergbau entwickelt. Im Unterschied zu den unter Abschnitt 3.1 und 3.2 skizzierten RMR- und TQI-Verfahren ist das RAG-Verfahren nicht als universell anwendbares Verfahren für die Klassifikation im Felsbau entwickelt und validiert worden. Seine Gültigkeit ist somit grundsätzlich auf die speziellen geologischen und abbautechnischen Verhältnisse des deutschen Steinkohlenbergbaus beschränkt. Die Anwendung im Rahmen des vorliegenden Projektes erfolgt daher nur hilfsweise und ergänzend vor dem Hintergrund, dass auf der Basis des RAG-Verfahrens eine grobe Einschätzung der Ausbauerfordernis im geklüfteten Fels in Abhängigkeit von der Streckenteufe und der Gesteinsfestigkeit der Sohlenschichten erfolgen

kann und insbesondere die am Referenzstandort Bad Grund anstehende Stratigraphie der des Ruhrkarbons vergleichbar ist.

Als Berechnungsformel für die Auffahrkonvergenz  $K_A$  in % der Ausgangshöhe einer Gesteinsstrecke nennen die Betriebsempfehlungen für den Steinkohlenbergbau /6/ den mit Gl. (3.4) gegebenen Formalismus.

$$K_A = -46 + 13,3 \cdot \frac{p}{\sqrt{\beta_{DS}}} \quad (3.4)$$

mit

$K_A$       Auffahrkonvergenz, %

$p$         Gebirgsdruck, MPa

$\beta_{DS}$      UC-Druckfestigkeit Sohlenschichten, MPa

Unter der Voraussetzung bzw. Forderung, dass bei einer Streckenauffahrung ausschließlich geringfügige elastische Verformungen für zulässig erachtet werden, kann mit Gl. (3.4) eine Grenzfunktion für konvergenz- bzw. ausbaufreie Strecken in Abhängigkeit von Gebirgsdruck  $p$  und Gesteinsfestigkeit  $\beta_{DS}$  entsprechend Gl. (3.5) bzw. Bild 3.5 abgeleitet werden.

$$\frac{46}{13,3} \cdot \sqrt{\beta_{DS}} = p \quad (3.5)$$

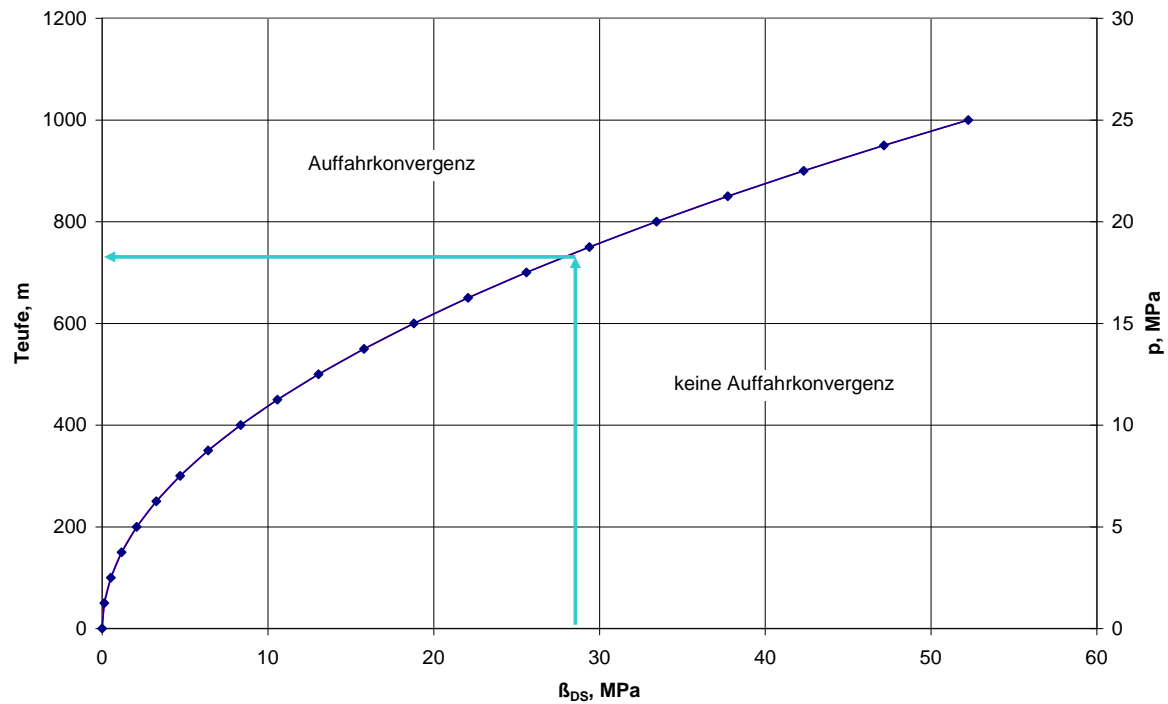


Bild 3.5: Bedingungen für das Auftreten einer Auffahrkonvergenz

Für die Einschätzung der Druckfestigkeit der im Sohlbereich der Gesteinsstrecken anstehenden Formationen werden in den Betriebsempfehlungen genannt:

Formation	$\beta_{DS}$ (MPa)
Sandstein	68 – 97
Sandschiefer	45 – 68
Schieferton	28 – 45
Wurzelboden	14 – 28

### **3.4 Analytische Berechnungen nach der Methode der Pfeilerdimensionierung**

#### **3.4.1 Pfeilerdimensionierung**

Die Methode der Pfeilerdimensionierung ist generell charakterisiert durch die Gegenüberstellung der Pfeilertragfähigkeit und der den Pfeiler belastenden Gebirgsspannungen. Die Standsicherheit eines Einzelpfeilers  $S_E$  wird rechnerisch als Quotient aus der Pfeilertragfähigkeit  $\beta_E$  und der Pfeilerbelastung  $\sigma_E$  ermittelt.

$$S_E = \frac{\beta_E}{\sigma_E} \quad (3.6)$$

$S_E$  rechnerische Sicherheit eines Einzelpfeilers (-)

$\beta_E$  Tragfähigkeit eines Einzelpfeilers (MPa)

$\sigma_E$  Belastung eines Einzelpfeilers (MPa)

#### **3.4.2 Ermittlung der Pfeilerbelastung**

Die Abschätzung der Belastung eines Pfeilers erfolgt grundsätzlich auf der Grundlage des so genannten „tributary area concept“ (Gleichgewichtsverfahren). Dabei wird das Eigengewicht des gesamten den Abbau überspannenden Deckgebirges gleichmäßig auf die Pfeiler verteilt, indem jedem Pfeiler eine so genannte Systemfläche zugeordnet wird, die sich durch Konstruktion der Mittelsenkrechten zwischen jeweils benachbarten Pfeilerstößen ergibt. Bild 3.6 zeigt exemplarisch diese Vorgehensweise für verschiedene Abbaugeometrien.



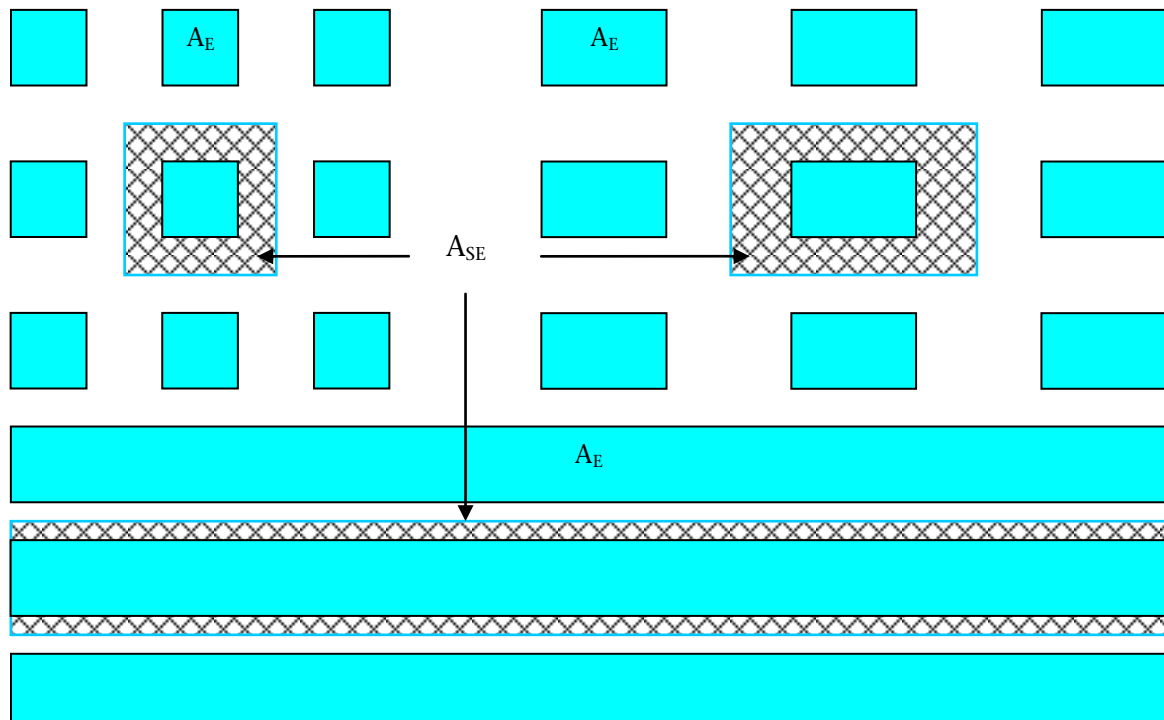


Bild 3.6: Ermittlung der Systemfläche bei unterschiedlichen Pfeilergeometrien

Das der Systemfläche entsprechende Eigengewicht (Gewicht der die Systemfläche überlagernden Gebirgssäule zwischen Pfeileroberkante und Tagesoberfläche) ist gemäß Gleichung (3.7) äquivalent der auf den Pfeiler einwirkenden Vertikalkraft  $F_v$ .

$$F_v = \gamma \cdot M_D \cdot A_{SE} \quad (3.7)$$

- $\gamma$  mittlere Wichte des Deckgebirges (MN/m<sup>3</sup>)
- $M_D$  Mächtigkeit des Deckgebirges = Teufe (m)
- $A_{SE}$  Systemfläche eines Einzelpfeilers (m<sup>2</sup>)
- $F_v$  auf einen Pfeiler einwirkende Vertikalkraft (MN)

Die Berechnung der vertikal auf den Pfeiler einwirkenden Spannung erfolgt schließlich durch Division der für die Lastabtragung verantwortlichen Pfeilerfläche durch die Vertikalkraft.

$$\sigma_E = \frac{F_v}{A_E} = \gamma \cdot M_D \cdot \frac{A_{SE}}{A_E} \quad (3.8)$$

$A_E$  Pfeilerfläche (m<sup>2</sup>)

In Gl. (3.8) noch unberücksichtigt ist, dass in Folge stoßnaher Auflockerungen und bergtechnisch nicht auszuschließender geometrischer Unregelmäßigkeiten bei der Auffahrung der Grubenbaue in situ, die planmäßig zugeschnittene Pfeilerquerschnittsfläche nicht identisch ist mit der für die Lastabtragung verfügbaren Pfeilerquerschnittsfläche. Zur rechnerischen Berücksichtigung von Auflockerungen und geometrischen Unregelmäßigkeiten wird die rechnerisch in Ansatz gebrachte Pfeilerquerschnittsfläche üblicherweise um eine umlaufende Saumzone von 0,5m bis 1,0m Mächtigkeit reduziert. Aus dem mit Gl. (3.8) gegebenen Formalismus folgt bei Berücksichtigung einer nicht tragenden Saumzone:

$$\sigma_E = \frac{F_v}{A_E} = \gamma \cdot M_D \cdot \frac{A_{SE}}{A_E} = \gamma \cdot M_D \cdot \frac{A_{SE}}{(b_p - 2m) \cdot (l_p - 2m)} \quad (3.9)$$

mit

$b_p$  Pfeilerbreite, m

$l_p$  Pfeilerlänge, m

Die Anwendung des mit Gleichung (3.9) beschriebenen Verfahrens der Lastermittlung ist in der vorgestellten Form grundsätzlich auf Abbausysteme mit einem Einfallen  $\alpha$  bis zu ca. 20° beschränkt.

Gemäß Gl. (3.9) ist die Belastung einer Feste bzw. eines Pfeilers bestimmt durch

- das spezifische Gewicht  $\gamma$  der überlagernden Deckgebirgsschichten,
- die Teufe der Abbauhohlräume bzw. die Mächtigkeit  $M_D$  der überlagernden Deckgebirgsschichten sowie
- das Verhältnis zwischen der zur Lastabtragung verfügbaren Pfeilerfläche  $A_E$  und der durch einen Pfeiler zu stützenden Hangendfläche (Systemfläche  $A_{SE}$ ).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Anwendung der vorstehend skizzierten Berechnungsvorschriften verfahrensbedingt unterstellt wird, dass das anstehende Gebirge tatsächlich in der Lage ist, die Deckgebirgslasten gleichmäßig auf die einzelnen Tragelemen-

te zu verteilen. Voraussetzungen hierfür sind insbesondere ein gleichförmiger Abbauzuschnitt, das Fehlen von geologischen und geotektonischen Inhomogenitäten im Gebirgsaufbau und eine hinreichende Entfernung der Pfeiler vom Baufeldrand. Andernfalls sind entsprechende Sicherheitszuschläge bei der Lastermittlung zu berücksichtigen und / oder erweiterte Überlegungen zur Lastermittlung zu berücksichtigen.

### **3.4.3 Ermittlung der Pfeilertragfähigkeit**

Im Vergleich zur Pfeilerbelastung wird die Tragfähigkeit eines Pfeilers durch sehr vielfältige Faktoren bestimmt. Dies können insbesondere sein:

- die Gesteins- und Gebirgsfestigkeit,
- die Schlankheit der Pfeiler bzw. das Verhältnis von Pfeilerhöhe zu Pfeilerbreite,
- Trennflächen in unterschiedlicher Ausbildung, Raumlage und Intensität,
- die geometrische Form der Pfeiler (quadratisch, rechteckig, unregelmäßig, etc.),
- die Anordnung von Nischen, Querhieben und Wetterlöchern zwischen und innerhalb der Pfeiler,
- die Beanspruchungsart (einaxial, mehraxial, Spannungsgeometrie),
- die Einspannungsverhältnisse im Hangenden und Liegenden (Gesteinsverbund, ausgeprägte Schichtflächen),
- die Dauer der Lasteinwirkung,
- die Umgebungsbedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur, Erschütterungen),
- Technische Stützmittel (Versatz, Anker),
- die Homogenität des Pfeilermaterials.

Obige Aufstellung zeigt, dass die Ableitung der standortspezifischen Pfeilertragfähigkeit über die Erfassung der Vielzahl von Einzelfaktoren hinaus, auch Wechselwirkungen zwischen den Einflussgrößen zu berücksichtigen hat.

Von besonderer Bedeutung für die Einschätzung der Pfeilertragfähigkeit ist, dass die auf der Grundlage von Laborversuchen abgeleiteten Gesteinskennwerte bei gegebener Klüftung nicht unmittelbar auf das Gebirge übertragen werden können. Vielmehr ist festzulegen, um welches Maß die Gesteinseigenschaften zu reduzieren sind, um das Tragvermögen des Gebirges einzuschätzen. Eine diesbezügliche Möglichkeit bietet die in /7/ dokumentierte Vorgehensweise. Danach kann die Gebirgsdruckfestigkeit aus der Gesteins-

festigkeit mit Gl. (3.10) berechnet werden, wenn die das Gebirge charakterisierenden Parameter  $s$  und  $m$  bekannt sind.

$$\beta_{1G} = \sigma_3 + \sqrt{(m \cdot \beta_{1u} \cdot \sigma_3 + s \cdot \beta_{1u}^2)} \quad (3.10)$$

mit

- $\beta_{1G}$  Gebirgsdruckfestigkeit, MPa  
 $\sigma_3$  minimale Gebirgsspannung, MPa  
 $\beta_{1u}$  einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit, MPa  
 $m, s$  Gebirgsparameter, -

Die Gebirgsparameter  $m$  und  $s$  werden auf der Grundlage des in Abschnitt 3.1 dokumentierten RMR-Verfahrens abhängig von der Größe des RMR-Wertes entsprechend Tab. 3.3 festgelegt.

Rock quality RMR	Dolomit, Kalkstein, Marmor		Tonstein, Tonschiefer, Schiefer		Sandstein, Quarzit		Andesit, Dolerit, Diabase, Rhyolit		Amphibolit, Gabbro, Gneis, Granit	
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s
100	7	1	10	1	15	1	17	1	25	1
85	3,5	0,1	5	0,1	7,5	0,1	8,5	0,1	12,5	0,1
65	0,7	0,004	1	0,004	1,5	0,004	1,7	0,004	2,5	0,004
44	0,14	0,0001	0,2	0,0001	0,3	0,0001	0,34	0,0001	0,5	0,0001
23	0,04	1	0,05	1	0,08	1	0,09	1	0,13	1
3	0,007	0	0,01	0	0,015	0	0,017	0	0,025	0

Tab. 3.3: Materialparameter zur Einschätzung der Gebirgsfestigkeit

Bei konservativer Annahme ausschließlich vertikaler Gebirgsspannungen in den zur Abtragung der Deckgebirgslasten zwischen benachbarten Kammern angeordneten Pfeilern resultiert auf der Grundlage der vorstehenden Ausführungen eine einaxiale Gebirgsdruckfestigkeit von:

$$\beta_{1G} = 0 + \sqrt{(m \cdot \beta_{1u} \cdot 0 + s \cdot \beta_{1u}^2)} \quad (3.11)$$

Bezüglich der vergleichsweise großen Streubreite der rechnerisch resultierenden Gebirgsdruckfestigkeit bleibt unter Verweis auf die Ausführungen in Abschnitt 3.1 festzuhalten, dass entsprechend der empirischen Erfahrung mit dem Tragverhalten geklüfteter Gebirgsbereiche der das Gebirgstragvermögen charakterisierende RMR-Wert wesentlich durch den Abstand und die Ausbildung der Trennflächen (Klüfte) bestimmt ist. Insofern führt sowohl eine zunehmende Klüftung (Kluftabstand, Anzahl der Kluftscharen) wie auch eine Reduktion der Scherfestigkeit auf den Kluftflächen (z.B. durch Kluftbeläge, Kluftwasser, abnehmende Klufttrauhigkeit, zunehmende Geradlinigkeit des Kluftverlaufs) zu einer signifikanten Abnahme des Gebirgstragvermögens bei gleicher Gesteinsdruckfestigkeit. Aus dem untertägigen Bergbau auf Festgestein allgemein bekannt ist, dass abhängig von der Klüftung die Gebirgsdruckfestigkeit um den Faktor 10 bis 20 kleiner sein kann, als die Gesteinsdruckfestigkeit. Damit bleibt zunächst festzustellen, dass die allgemeinen Erfahrungen zum festigkeitsreduzierenden Einfluss von Klüften durch die mit Gl. (3.10) gegebene Berechnungsvorschrift zur Ermittlung der Gebirgsfestigkeit bestätigt wird.

### 3.5 Analytische Berechnung der Spannungsverteilung um kreisförmige Hohlräume

#### 3.5.1 Elastische Lösung

Für die analytische Berechnung der Spannungsverteilung um einen kreisförmigen Hohlraum entsprechend der in Bild 3.7 gezeigten Belastungssituation können bei Ansatz eines ebenen Verzerrungszustandes die Gleichungen Gl. (3.12) bis Gl. (3.14) herangezogen werden.

$$\sigma_r = \frac{a^2}{r^2} \cdot p_i + \frac{\sigma_v}{2} \cdot \left[ (1 + K_0) \cdot \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - (1 - K_0) \cdot \left( 1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cdot \cos 2\varphi \right] \quad (3.12)$$

$$\sigma_\varphi = -\frac{a^2}{r^2} \cdot p_i + \frac{\sigma_v}{2} \cdot \left[ (1 + K_0) \cdot \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) - (1 - K_0) \cdot \left( 1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cdot \cos 2\varphi \right] \quad (3.13)$$

$$\tau_{r\varphi} = \frac{\sigma_v}{2} \cdot \left[ (1 - K_0) \cdot \left( 1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4} \right) \cdot \sin 2\varphi \right] \quad (3.14)$$

mit

$\tau_{r\varphi}$	Schubspannung, Pa
$\sigma_r$	Radialspannung, Pa
$\sigma_\varphi$	Tangentialspannung, Pa
$\sigma_v$	Vertikalspannung, Pa
$p_i$	Ausbaustützdruck, Pa
$K_0$	Seitendruckbeiwert, -
$a$	Streckenradius, m
$\varphi$	Drehwinkel gegen x-Achse, °
$r$	radiale Entfernung zum Streckenmittelpunkt, m

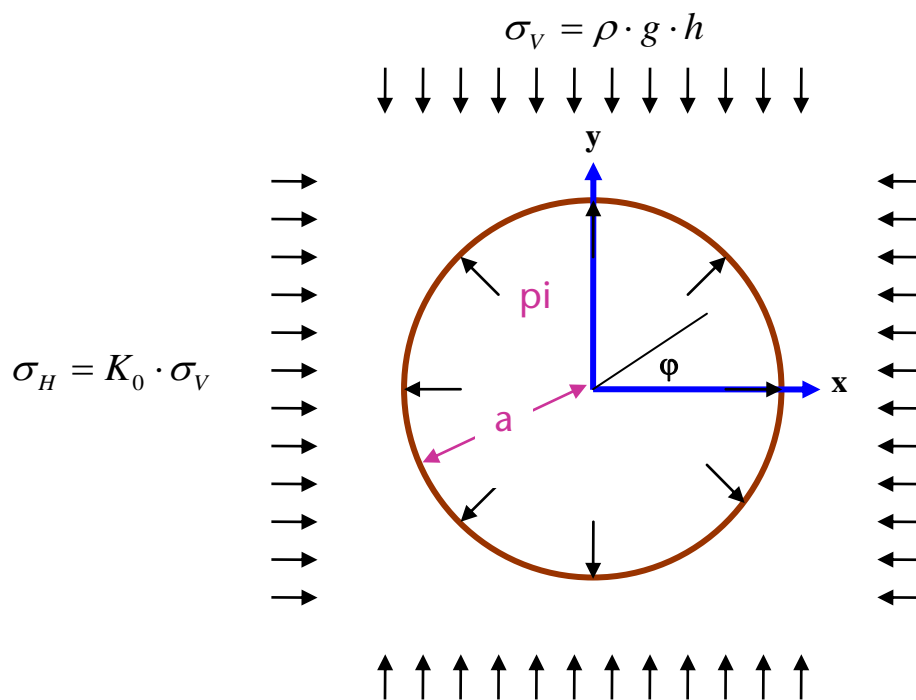


Bild 3.7: Beanspruchungssituation „gelochte Scheibe“ unter Innen- und Außen-  
druck

Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Gleichungen (3.12) bis (3.14) sind eine kreisförmige Strecken- bzw. Hohlraumgeometrie, ein ebener Verzerrungszustand (—Streckenlänge  $\gg$  Streckendurchmesser), ein homogenes Gebirge und linear elastisches Materialverhalten. Unter der weiteren Voraussetzung eines isotropen Primärspannungszustandes



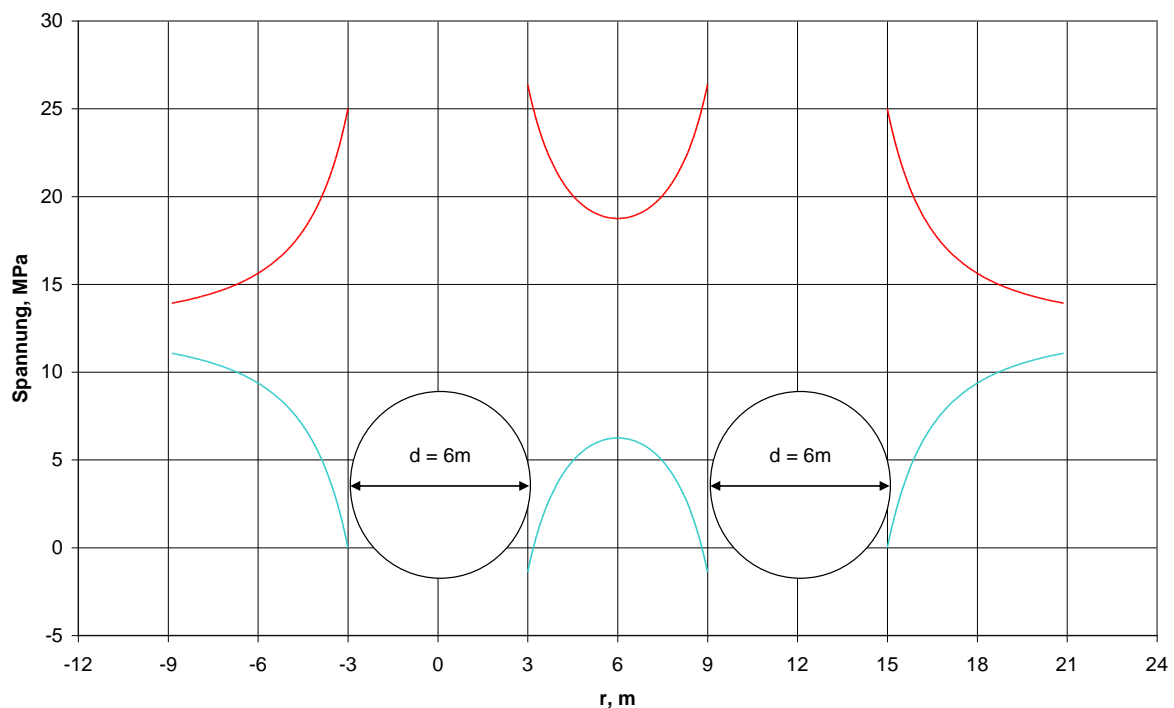
( $\rightarrow K_0 = 1$ ) und eines fehlenden Ausbaustützdruckes  $p_i$  kann die mit den Gln. (3.12) bis (3.14) gegebene analytische Lösung vereinfacht werden zu:

$$\sigma_t = \sigma_v \cdot \left\{ 1 + \frac{a^2}{r} \right\} \quad (3.15)$$

$$\sigma_r = \sigma_v \cdot \left\{ 1 - \frac{a^2}{r} \right\} \quad (3.16)$$

$$\tau_{r\varphi} = 0 \quad (3.17)$$

Ein exemplarisches Berechnungsbeispiel mit  $a = 3\text{m}$  und  $\sigma_v = 12,5\text{ MPa}$  zeigt Bild 3.8. Aus Bild 3.8 ist deutlich zu erkennen, dass die resultierende Größe der Gebirgsbeanspruchung nicht ausschließlich durch die analytische Lösung für einen Einzelhohlraum bestimmt wird, sondern auch und insbesondere durch die Superposition bzw. Überlagerung der sich im gezeigten Beispiel gegenseitig beeinflussen Hohlräume.



**Bild 3.8:** Berechnungsbeispiel für die Radial- und Tangentialspannungen um zwei kreisförmige Hohlräume im isotropen, elastischen, homogenem Gebirge ohne Ausbaustützdruck – ebener Verzerrungszustand

### 3.5.2 Plastische Lösung

Für die analytische Berechnung der Spannungsverteilung um einen kreisförmigen Hohlraum im plastischen Gebirge können bei Ansatz eines ebenen Verzerrungszustandes die Gleichungen Gl. (3.18) bis Gl. (3.23) wie folgt herangezogen werden:

(a) Berechnung des plastischen Radius  $R_p$

$$R_p = a \cdot \left[ \frac{(c \cdot \cot \alpha \varphi + \sigma_v) \cdot (1 - \sin \varphi)}{p_i + c \cdot \cot \alpha \varphi} \right]^{\frac{(1 - \sin \varphi)}{2 \sin \varphi}} \quad (3.18)$$

(b) Berechnung der plastischen Spannungen für  $r = a$  bis  $r = R_p$

$$\sigma_r^p = (\sigma_v + c \cdot \cot \alpha \varphi) \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \left( \frac{r}{R_p} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{(1 - \sin \varphi)}} - c \cdot \cot \alpha \varphi \quad (3.19)$$

$$\sigma_\varphi^p = (\sigma_v + c \cdot \cot \alpha \varphi) \cdot (1 + \sin \varphi) \cdot \left( \frac{r}{R_p} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{(1 - \sin \varphi)}} - c \cdot \cot \alpha \varphi \quad (3.20)$$

(c) Berechnung der elastischen Spannungen für  $r > R_p$

$$\sigma_r^e = \sigma_v \cdot \left[ 1 - \left( \frac{R_p}{r} \right)^2 \right] + \sigma_{r(R_p)}^p \cdot \left( \frac{R_p}{r} \right) \quad (3.21)$$

$$\sigma_\varphi^e = \sigma_v \cdot \left[ 1 + \left( \frac{R_p}{r} \right)^2 \right] - \sigma_{r(R_p)}^p \cdot \left( \frac{R_p}{r} \right) \quad (3.22)$$

(d) Berechnung der elastisch-plastischen Spannungen für  $r = R_p$

$$\begin{aligned} \sigma_{r(R_p)}^p &= \sigma_v (1 - \sin \varphi) - c \cdot \cos \varphi \\ \sigma_{\varphi(R_p)}^p &= \sigma_v (1 + \sin \varphi) + c \cdot \cos \varphi \end{aligned} \quad (3.23)$$

mit

$c$  Kohäsion, Pa

$\varphi$  Winkel der inneren Reibung, °

Ein exemplarisches Berechnungsbeispiel mit  $a = 3\text{m}$ ,  $\sigma_v = 12,5\text{ MPa}$ ,  $\varphi = 30^\circ$ ,  $c = 1\text{ MPa}$ ,  $K_0 = 1$  und  $p_i = 0\text{ MPa}$  zeigt Bild 3.10.

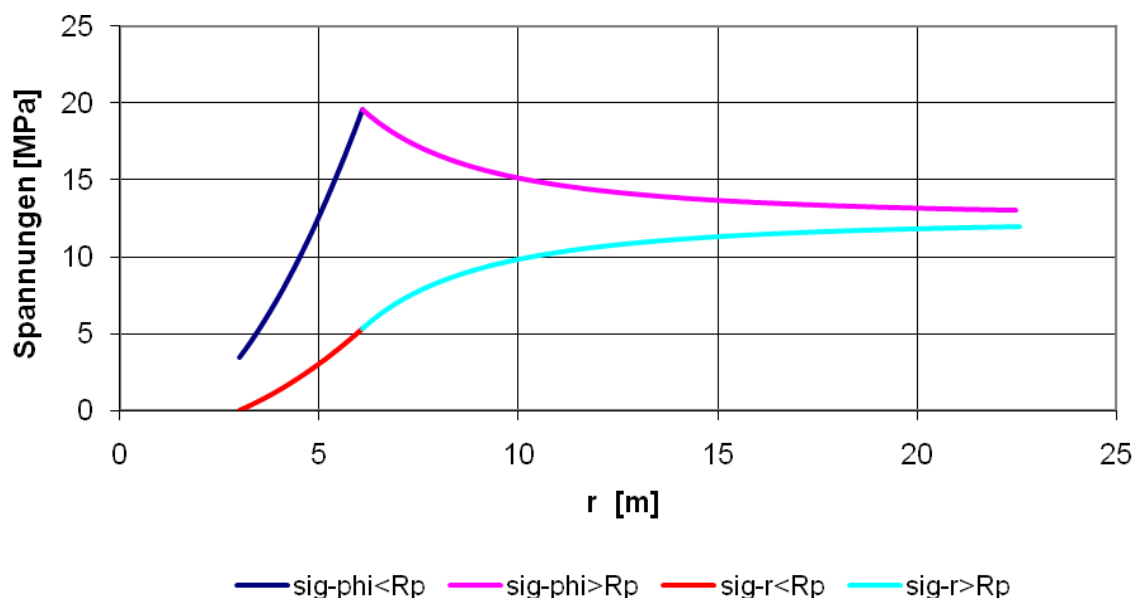


Bild 3.9: Berechnungsbeispiel für die Radial- und Tangentialspannungen um einen kreisförmigen Hohlraum im isotropen, plastischen, homogenem Gebirge ohne Ausbaustützdruck – ebener Verzerrungszustand

### 3.6 Analytische Berechnung der Spannungsverteilung um zylindrische Hohlräume

Für die analytische Berechnung der Spannungsverteilung um einen zylindrischen Hohlraum entsprechend der in Bild 3.10 gezeigten Belastungssituation können bei Ansatz eines ebenen Verzerrungszustandes die Gleichungen Gl. (3.24) bis Gl. (3.26) herangezogen werden.

$$\sigma_{\varphi} = p_i \cdot \frac{r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \left( \frac{r_a^2}{r^2} + 1 \right) - p_a \cdot \frac{r_a^2}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \left( 1 + \frac{r_i^2}{r^2} \right) \quad (3.24)$$

$$\sigma_r = -p_i \cdot \frac{r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \left( \frac{r_a^2}{r^2} - 1 \right) - p_a \cdot \frac{r_a^2}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \left( 1 - \frac{r_i^2}{r^2} \right) \quad (3.25)$$

$$\sigma_z = p_i \cdot \frac{r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} - p_a \cdot \frac{r_a^2}{r_a^2 - r_i^2} \quad (3.26)$$

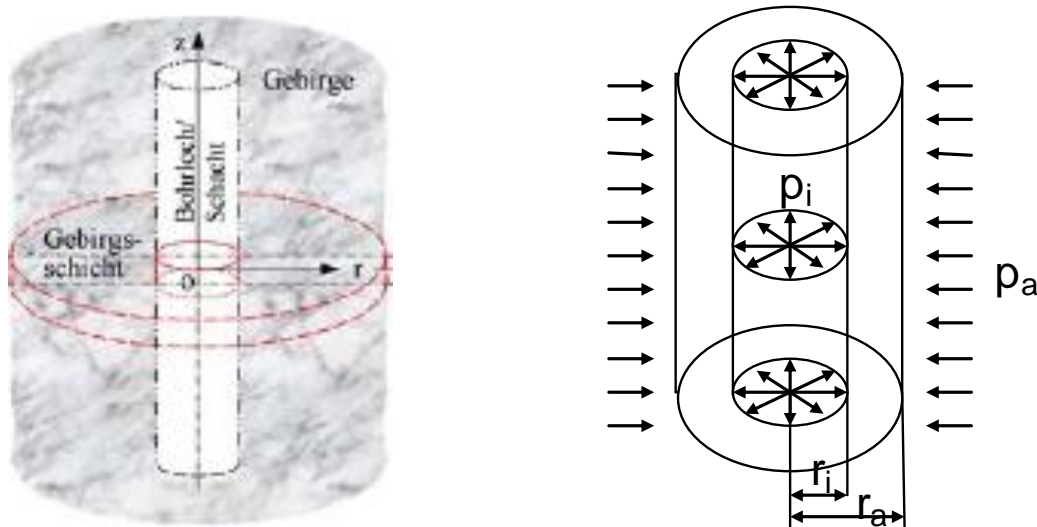


Bild 3.10: Beanspruchungssituation „dickwandiger Zylinder“ unter Innen- und Außen-  
druck

Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Gleichungen (3.24) bis (3.26) sind eine zylindrische Schacht- bzw. Hohlraumgeometrie, ein ebener Verzerrungszustand ( $\rightarrow$  Schachtlänge  $\gg$  Schachtdurchmesser), ein homogenes Gebirge und linear elastisches Materialverhalten. Ein exemplarisches Berechnungsbeispiel mit  $r_i = 3\text{m}$ ,  $\sigma_v = 12,5\text{ MPa}$ ,  $K_0 = 1$  und  $p_i = 0\text{ MPa}$  zeigt Bild 3.11.

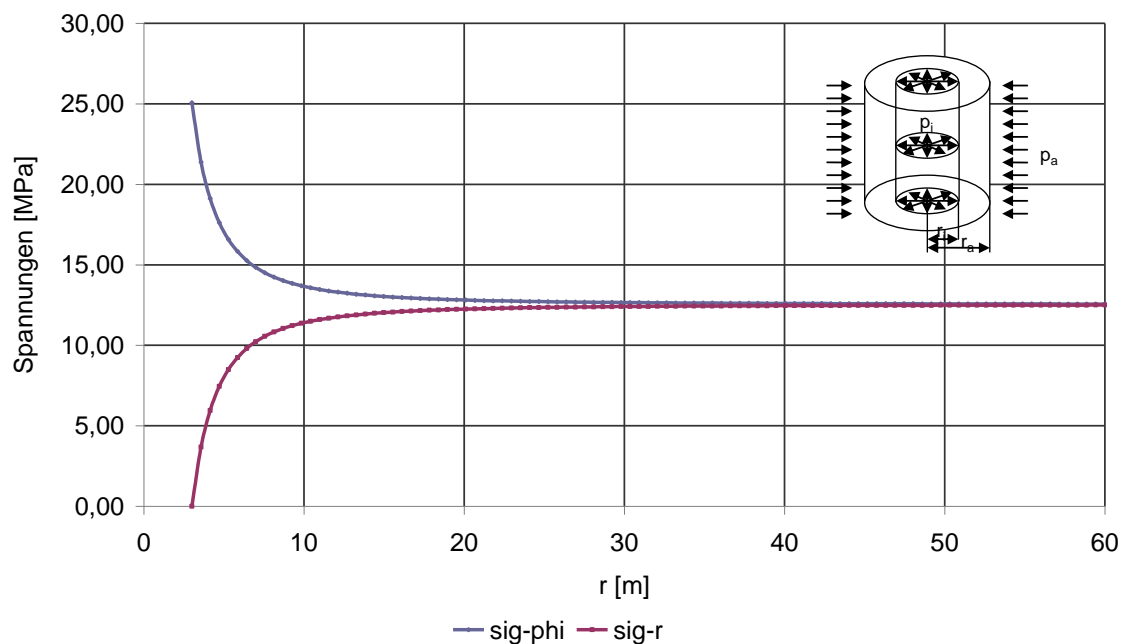


Bild 3.11: Berechnungsbeispiel für die Radial- und Tangentialspannungen um einen zylindrischen Hohlraum im isotropen, elastischen, homogenem Gebirge ohne Ausbaustützdruck – ebener Verzerrungszustand

## 4. Gebirgsmechanisch relevante Daten der Referenzstandorte

### 4.1 Geologisch-tektonischer Aufbau des Gebirges

#### 4.1.1 Referenzstandort Bad Grund

Ziel der nachfolgenden Ausführungen ist nicht eine wiederholende Darstellung der insgesamt vorliegenden Informationen zum geologisch-tektonischen Lagerstättenaufbau im Bereich des Referenzstandortes Bad Grund, sondern vielmehr eine gekürzte Zusammenstellung und Erläuterung der für die Auffahrung untertägiger Grubenbaue im Bereich der Grundener Lagerstätte aus gebirgsmechanischer Sicht für wesentlich erachteten geologisch-tektonischen Daten.

Gemäß den Ausführungen in /8/ und /9/ sind während des Unterkarbons vor ca. 350 Millionen Jahren im Bereich der Grunder Lagerstätte sandige und tonige Sedimente abgelagert worden, die heute als Wechselfolge von Grauwacken und Tonschiefern anstehen. Durch Krustenbewegungen im Oberkarbon ist aus dem Ablagerungsraum zunächst ein

NW-SE streichendes Faltengebirge (—so genannte Clausthaler Kulmfaltenzone) entstanden, das im Rahmen einer nachfolgenden, vor etwa 250 Millionen Jahren abgeschlossenen Bruch- und Dehnungstektonik in ein Mosaik von Einzelschollen zerlegt wurde. Eine generalisierende geologische Übersichtskarte vom Westharz mit Gliederung des Oberharzes zeigt Bild 4.1.

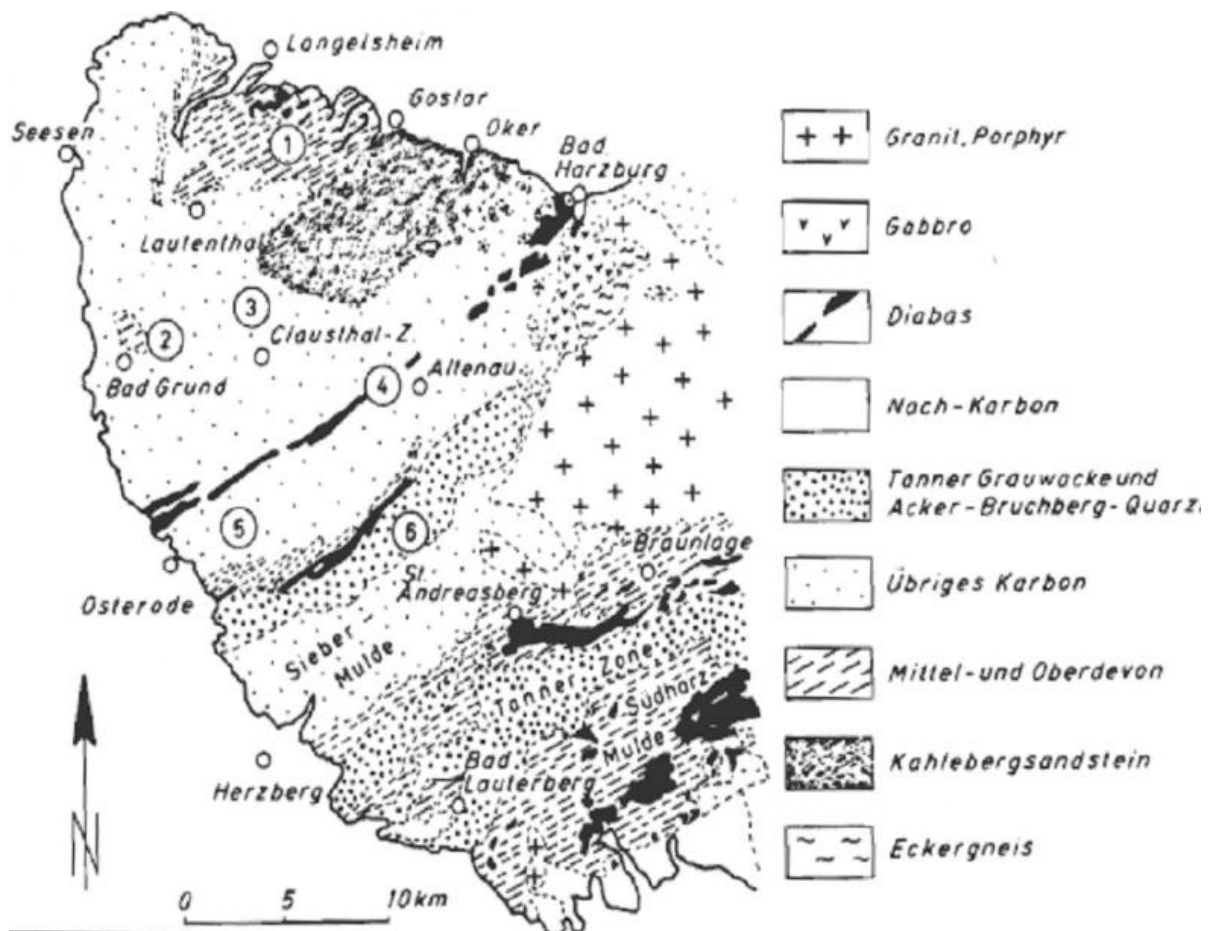


Bild 4.1: Geologische Übersichtskarte vom Westharz mit Gliederung des Oberharzes /8/

Im Zuge der Dehnungstektonik bildete sich die in Bild 4.2 gezeigte Grunder Lagerstätte mit dem Silbernaaler Gangzug. Die Ausfüllung der bis zu 80m mächtigen Gangzonen besteht gemäß /8/ vorwiegend aus mehr oder minder verändertem und oft völlig zerriebenem Nebengestein. Der restliche Gangraum wurde durch hydrothermale Lösungen



gefüllt und bildet an bevorzugten Stellen mehrere hundert Meter lange und hohe Erzkörper mit einer Mächtigkeit von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern.

In /9/ wird ausgeführt, dass im Liegenden des Silbernaaler Gangzuges westlich des Achenbachschachtes lithologische Leitschichten in Form eines Konglomerates und mehrerer bis zu 60m mächtiger Sandbandschiefer aufgeschlossen sind, die sich im Grubengebäude z.T. kilometerweit verfolgen lassen. Die Sandbandschiefer bestehen aus dunkelbraunen Tonschiefern, in welche hellgraue, 0,2 bis 5 cm dicke Sandbänder eingeschaltet sind. In den Sandbandschiefern kommen darüber hinaus vereinzelt 0,2 bis 1m mächtige Grauwackenbänke vor. Neben den Sandbändern treten cm dicke Karbonat-Quarz-Lagen oder meist lagenweise karbonatisch-quarzige Geoden und mm dicke kohlige Pflanzenhäcksellagen auf.



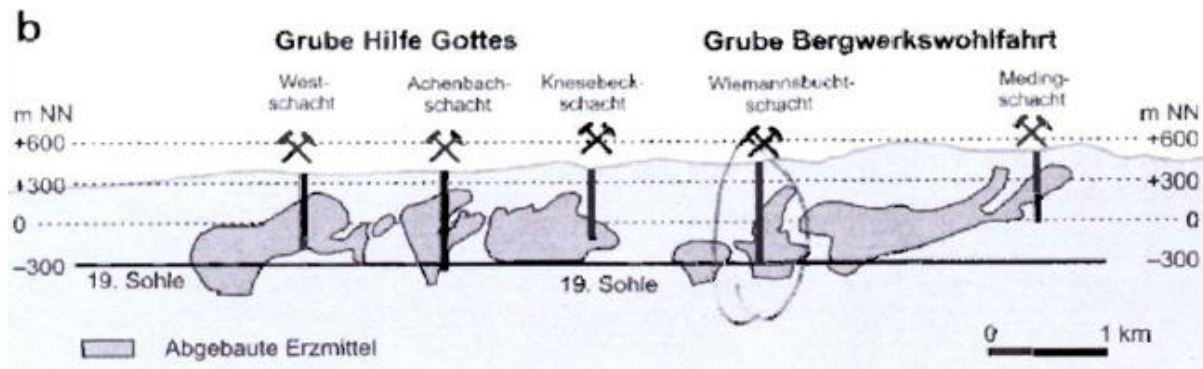


Bild 4.2: Grundriss und schematischer Vertikalschnitt durch die Grunder Lagerstätte

Für den generellen Bau des Grunder Sattels kennzeichnend sind zahlreiche Spezialfalten mit Achsabständen von max. 2m bis zu max. 200m. Im Querprofil werden gefaltete Zonen von ungefalteten Bereichen abrupt abgelöst, wobei die Anzahl der Einzelfalten und die Lage der Faltenachsen in der Vertikalen und in der Horizontalen oft von Sohle zu Sohle wechseln. In der Konsequenz ist das anstehende Gebirge charakterisiert durch eine hinsichtlich Streichen, Einfallen und Petrographie kleinräumig wechselnde Struktur. Zur Bestätigung vorstehender Aussage zeigt Bild 4.3 exemplarisch eine geologische Kartierung aus dem Bereich des Silbernaaler Gangzugs.

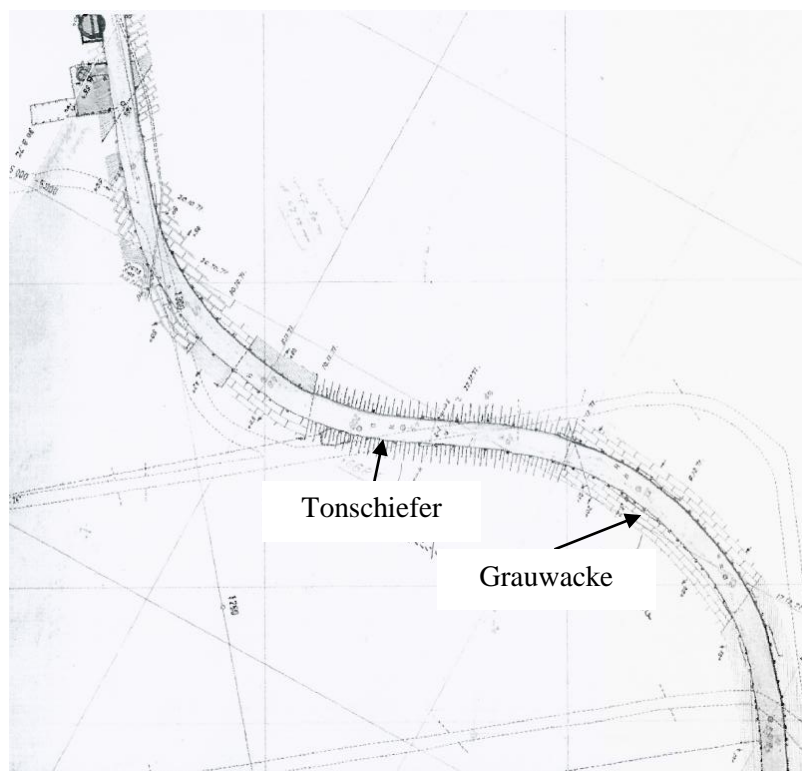


Bild 4.3: Geologische Kartierung im Bereich des Silbernaaler Gangzugs

Einen visuellen Eindruck von Habitus und Gefüge des anstehenden Gesteins zeigt Bild 4.4. Daraus kann entnommen werden, dass die regelmäßig im Liegenden des Erzganges, d.h. im so genannten Kulmschiefer aufgefahrenen Strecken und Querschläge ohne das Erfordernis eines planmäßigen Unterstützungsausbau standfest sind. Stöße, Firste und Ortsbrust der in Bild 4.4 gezeigten Streckenauffahrung vermitteln den Eindruck eines schichtungsfreien, tendenziell kleinräumig geklüfteten Gebirges.

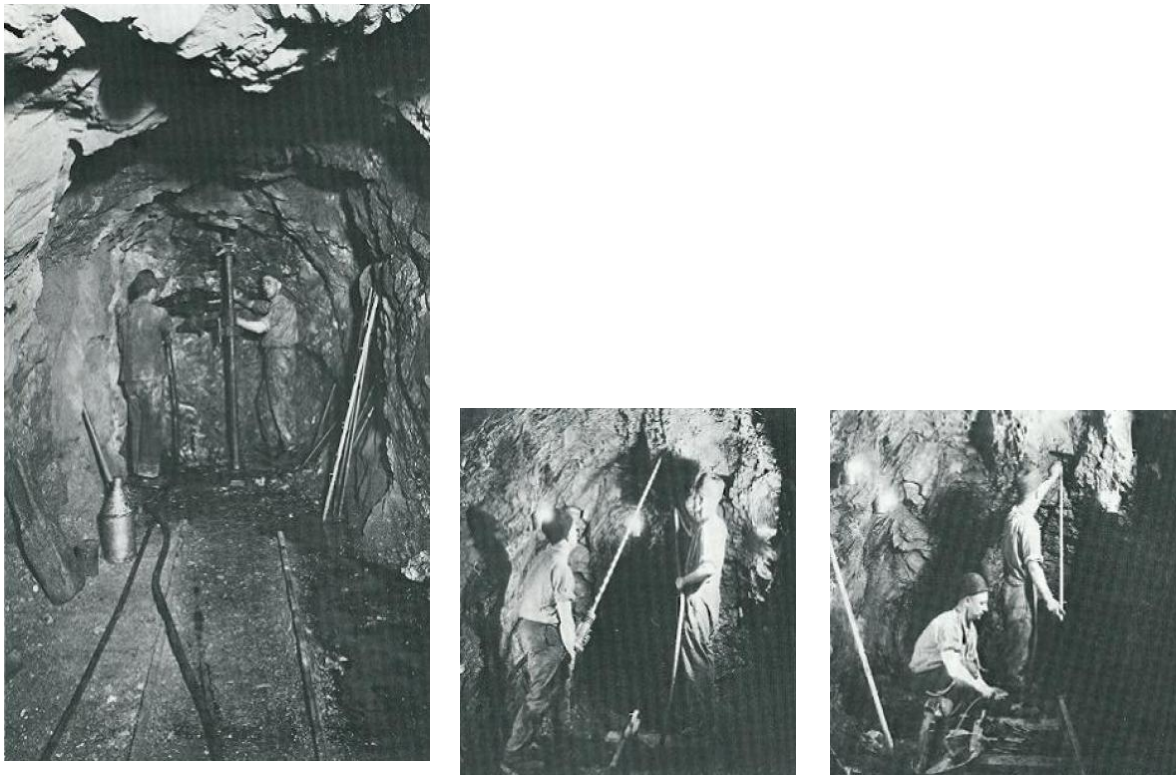


Bild 4.4: Habitus und Gefüge Tonschiefer und Grauwacke /8/

#### **4.1.2 Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser**

Das Erzfeld Pöhla-Tellerhäuser mit den von NW nach SE aufeinander folgenden Lagerstätten Globenstein, Hämmerlein und Tellerhäuser liegt im Zentralteil der Sattelstruktur des Erzgebirges. Entsprechend der Darstellung in Bild 4.5 ist das in etwa NW-SE streichende Erzfeld in unmittelbarer Nähe zur südlich verlaufenden Grenze der Tschechischen Republik lokalisiert. Das Gebirge im Projektgebiet besteht größtenteils aus kristallinen Schiefern,

vor allem Glimmerschiefern mit Einlagerungen von mehr oder weniger verskarnten Karbonatgesteinen, Quarziten, Gneisen und Amphiboliten /14/. Im Bereich der Lagerstätte Tellerhäuser, die als zweiter Referenzstandort für die Anlage eines untertägigen Pumpspeicherwerkes ausgewählt worden ist, wird das oberflächennahe Gebirge bis zu einer Tiefe von ca. 150m durch phyllitartige Schiefer aufgebaut (phyllon = Blatt; Phyllit = feinkristallines, dünnsschieferiges, meist blättriges Gestein, welches durch Metamorphose aus Tonschiefern entstanden ist). Die Entstehung der so genannten Skarnlagerstätten im Erzfeld Pöhla-Tellerhäuser erfolgte erdgeschichtlich im Kambrium vor ca. 500 Mio. Jahren (Skarn = Gruppe heterogener Metamorphite bzw. Umwandlungsgesteine, welche durch Reaktionen saurer Magmen mit Karbonatgesteinen wie Dolomit und Kalkstein entstehen). Bedingt durch die von der magmatischen Schmelze des Erzgebirgsplutons ausgehende Wärme sowie hochgradig mit Elementen angereicherte hydrothermale Lösungen, die von der Schmelze aus in das überlagernde bzw. umgebende Karbonatgestein eingedrungen sind, erfolgten chemische Reaktionen, die zur Bildung von Silikat- und Erzmineralen führten.

Tektonisch wird das Gebiet des Erzfeldes charakterisiert durch einen relativ flachen Verlauf von Schichtung und Schieferung der Gesteine sowie eine als Vergitterung bezeichnete Schar von in etwa parallel und senkrecht zum Lagerstättenstreichen verlaufender Störungen. Gemäß /14/ werden als Hauptrichtungen der Störungen unterschieden:

- (a) NNW-Störungen mit ca. 305 – 320° Streichen und 50 – 70° Einfallen nach SW (u.a. Rittersgrüner Störung am SW-Rand des Erzfeldes, Luchsbach Störung im Zentralteil des Erzfeldes, Kirchholz Störung am NE-Rand des Erzfeldes).
- (b) N-S-Störungen mit ca. 340 – 10° Streichen und 50 – 70° Einfallen nach W oder E (u.a. Hinterberg Störung in Hämmerlein nach E einfallend und Schildbach Störung in Tellerhäuser nach W einfallend).
- (c) NNW-Störungen mit ca. 330 – 340° Streichen und fast vertikalem Einfallen (u.a. Kunnersbach Störung, Friedrichsbach Störung, Höllbach Störung).
- (d) ENE-Störungen mit ca. 60 – 70° Streichen und 50 – 70° Einfallen nach SE (u.a. Arnoldshammer Störung in Globenstein, Dreiberg Störung und Zweibach Störung in Tellerhäuser).
- (e) Schichtparallele Störungen neben Marmor-Skarn-Lagern und erdgeschichtlich jüngere Zonen mit zerschiefernten und zerriebenen Gesteinen und erhöhter Klüftigkeit).



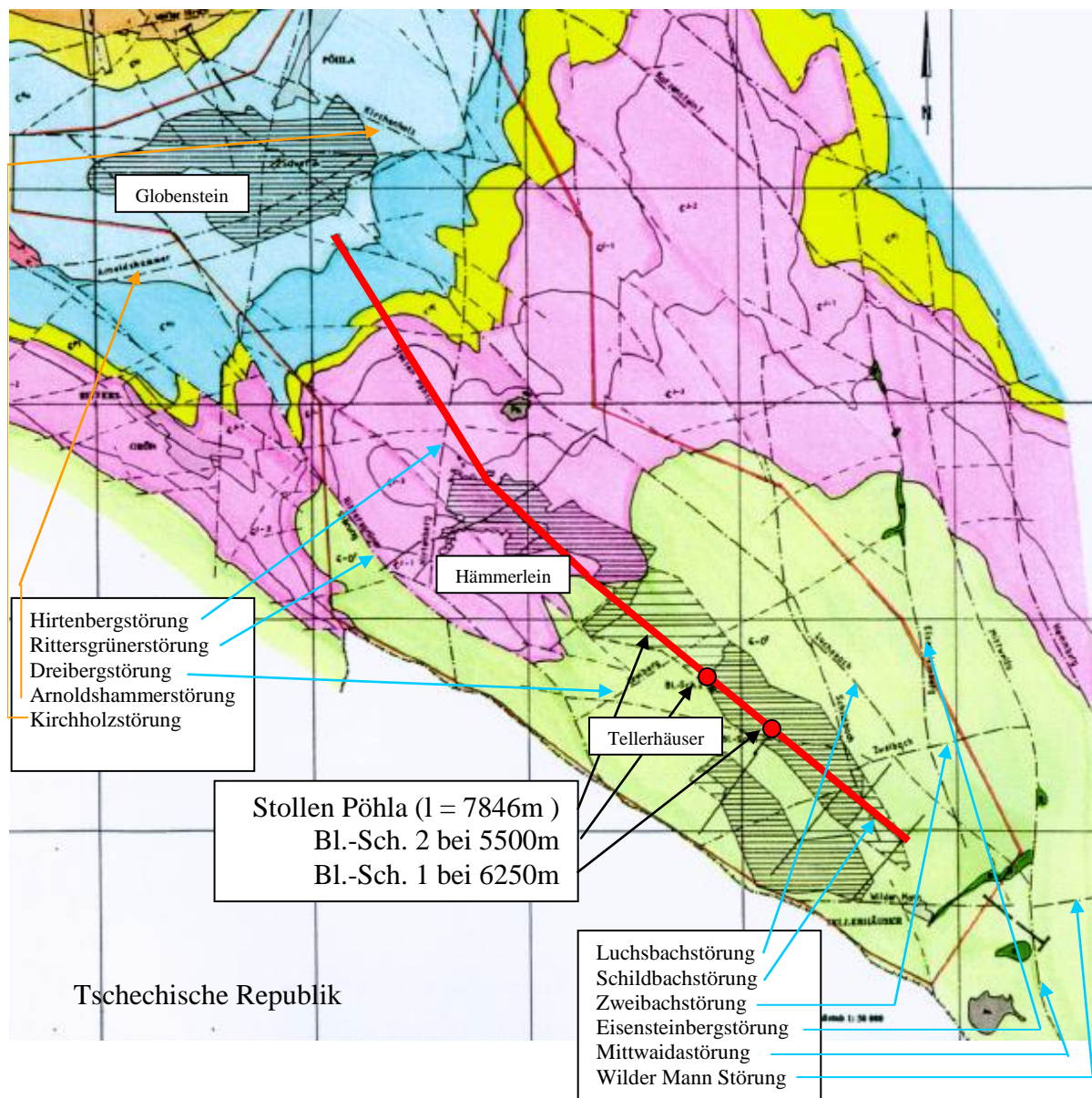


Bild 4.5: Erzfeld Pöhla-Tellerhäuser /14/

Nicht alle der vorstehend genannten Störungen sind in der geologischen Karte Bild 4.5 enthalten. Eine zu Bild 4.5 ergänzende Darstellung des Verlaufs und der Lage von Störungen im Projektgebiet zeigt Bild 4.6 für die +120m-Sohle der als Referenzstandort für die Anlage eines untertägigen Pumpspeicherwerkes ausgewählten Lagerstätte Tellerhäuser. Das Einfallen der Schichten und ausgewählter Störungen kann dem in Bild 4.7 gezeigtem

Längsprofil durch das Erzfeld Pöhla-Tellerhäuser entnommen werden. Von besonderer Bedeutung für die Festlegung der genauen Lokation von Ober- und Unterbecken ist danach eine genaue Kenntnis des Verlaufs der Störungen im Raum. Da die Mehrzahl der vorstehend genannten Störungen nicht vertikal sondern unter 50 – 70° einfallen, führt eine lotrechte Anordnung von Ober- und Unterbecken zu der Besorgnis, dass eine beispielsweise im Teufenniveau des Unterbeckens außerhalb der Auffahrungen lokalisierte Störungszone im Teufenniveau des Oberbeckens die geplanten Grubenbaue kreuzt. Ungeachtet der eher grundsätzlichen Überlegungen im Rahmen der vorliegenden Vorstudie bleibt damit darauf hinzuweisen, dass eine wesentliche und unabdingbare Voraussetzung für vertiefte Planungen zur Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Standort Tellerhäuser eine detailgenaue Erkundung und Dokumentation der tektonischen Elemente im Projektgebiet ist.





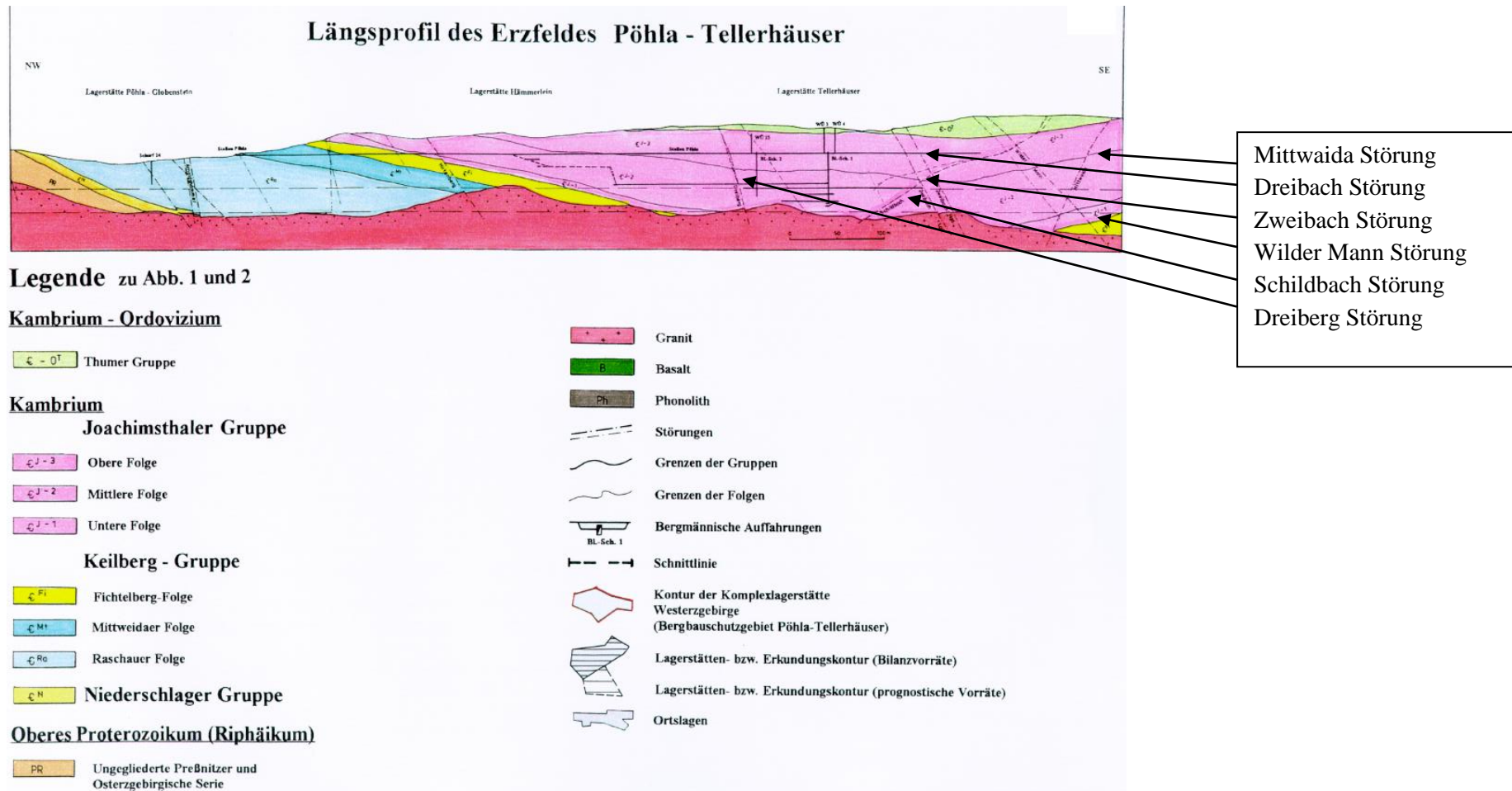


Bild 4.7: Längsprofil des Erzfeldes Pöhla – Tellerhäuser /14/

Zur Ausbildung der Störungszonen kann den Ausführungen in /14/ entnommen werden:

Die größte NW-Störung im Erzfeld – die Rittersgrüner Störung – besitzt eine Mächtigkeit von bis zu 50m. Die vertikale Sprunghöhe der Abschiebung beträgt 200 – 300m. Sie besteht aus Nebengesteins-Brekzie mit tektonisch durchbewegtem, z.T. lettigem Material.

Die durch alle drei Lagerstätten des Erzfeldes streichende Luchsbach Störung besitzt eine Mächtigkeit von 0,2 – 0,6m und enthält neben tektonisch durchbewegtem Material Gangmineralisationen.

Die größte tektonische Störung der Lagerstätte Tellerhäuser – die Schildbach Störung – *besteht aus mehreren kulissenartig angeordneten Teilstrukturen von 1 – 2m Mächtigkeit bei einer Gesamtmächtigkeit der Störungszone von ca. 20m. Sie besteht aus durchbewegtem Nebengestein, lettigem Material, Gangmineralisationen und Phonolithgängen (–dichtes bis feinkörniges Ergußgestein).*

*Die NNW-Störungen bilden im Zentralteil der Lagerstätte Tellerhäuser ein Bündel in dem tektonischen Keil zwischen Schildbach Störung und Luchsbach-Gang, Bild 4.6. Es sind steil einfallende Strukturen, die neben tektonisch durchbewegtem Material hydrothermale Mineralisationen enthalten. Die größte Störung in diesem Bündel ist die Kunnersbach Störung mit allg. über 0,5m Mächtigkeit und mehr als 2km streichender Erstreckung.*

*In der Lagerstätte Tellerhäuser sind ENE-Störungen weit verbreitet. Die bedeutendsten sind die Störungen Dreiberg und Zweibach, welche aus je ein bis zwei Teilstrukturen von jeweils 1 – 2m Mächtigkeit bestehen und meist mit tektonisch durchbewegtem Gesteinsmaterial und Quarz ausgefüllt sind.*

Hydrogeologisch werden die flach lagernden Folgen kristalliner Schiefer im Projektgebiet als *praktisch wasserundurchlässig* bezeichnet, wenn sie in ungestörtem Zustand anstehen. Die Klüfte, Störungen und Gänge in den Festgesteinen können gemäß /14/ jedoch lokale Grundwasserleiter darstellen. *Dabei bestehen infolge fehlender hydraulischer Barrieren intensive Wechselbeziehungen zwischen den Wässern der obertägigen Bäche und den Kluft-Spalten-Wässern. Einen zusätzlichen Grundwassertyp stellen in diesem Erzfeld Karst-Kluft-Schicht-Wässer dar, die an stärker geklüftete bzw. tektonisch beanspruchte Bereiche in metakarbonatischen Gesteinen der Keilberg- und der Joachimsthaler Gruppe gebunden sind. Dieser Grundwasserleiter kann lokal eine erhöhte Grundwasserführung aufweisen, die beim Antreffen mit untertägigen Auffahrungen gelegentlich zu Wassereinbrüchen mit kurz- bis mittelfristigen Schüttungsmengen aus solchen Karsthohlräumen von über 130m<sup>3</sup>/h führte (statische Wasservorräte). Ein*

*solcher Karstbereich wurde im Januar 1988 auf der 300m-Sohle in der Lagerstätte Tellerhäuser mit der Feldstrecke 8903 SE im Kreuzungsbereich Lager „D“/Luchsbach-Störung angefahren. Seine Größe ist nach dem anfänglichen Wasserzulauf auf ca. 50 – 80 Tm<sup>3</sup> zu schätzen. Insgesamt gesehen sind die Grubenwasserzuflüsse im wesentlichen an Kluft- bzw. tektonische Zonen, bevorzugt an solche in metakarbonatischen Gesteinen gebunden, über die die Speisung aus den oberflächennahen Grundwasserleitern erfolgt. Diese Wasserzuflüsse sind niederschlagsbedingten Schwankungen unterworfen und nehmen mit wachsender Teufe ab.*

Für die hydraulisch verbundenen Grubengebäude Globenstein, Hämmerlein und Tellerhäuser betrugen die Zulaufmengen gemäß Aussage in /14/ 1987 ca. 120m<sup>3</sup>/h. Nach Einstellung des Abbaus gingen die Zulaufmengen auf ca. 70 – 80m<sup>3</sup>/h zurück.

## **4.2 Bergtechnische Befunde**

### **4.2.1 Referenzstandort Bad Grund**

Als gebirgsmechanisch relevante bergtechnische Indikatoren für das Tragvermögen des im Projektgebiet anstehenden Gebirges sind zu nennen:

- (a) Die Auffahrung der 19. Sohle erfolgte abhängig von der Morphologie in einer Teufe von bis zu 900m.
- (b) Der Vortrieb von Querschlägen im Nebengebirge war charakterisiert durch Streckenquerschnitte von zuletzt 16m<sup>2</sup> bis 20m<sup>2</sup> mit kreisförmiger bis elliptischer Auswölbung der Firste.
- (c) Eine Sicherung der Gesteinsstrecken erfolgte nicht planmäßig. Lediglich in gebräuchlichen Gebirgsbereichen wurde etwa seit den 70er Jahren Bedarfsankerung und Maschendrahtverzug eingesetzt.
- (d) Der Wasserzulauf auf einer streichenden Grubenfeldlänge von ca. 5 km wird zu 5000m<sup>3</sup>/d eingeschätzt.
- (e) Als Grubenbaue mit deutlich über das Streckenprofil hinausgehenden Querschnittsabmessungen können aus dem bergmännischen Risswerk entnommen werden:
  - i. Die Füllörter im Bereich der 19. Sohle mit einem Querschnitt von ca. 40m<sup>2</sup>.



- ii. Die Werkstatt im Niveau der 19. Sohle bestehend aus einem Mehrfachstreckensystem mit Abmessungen von B x H ca. 6m - 8m x 6m - 8m.

#### **4.2.2 Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser**

Als gebirgsmechanisch relevante bergtechnische Indikatoren für das Tragvermögen des im Projektgebiet Pöhla-Tellerhäuser anstehenden Gebirges sind zu nennen:

- (a) Im Bereich der Lagerstätten Globenstein, Hämmerlein und Tellerhäuser sind über einen Zeitraum von ca. 40 bis 50 Jahren umfangreiche bergmännische Aufschluss- und Gewinnungsarbeiten durchgeführt worden.
- (b) Die Auffahrungen im Bereich der Lagerstätte Globenstein (–Schürfschacht 24 mit  $8,6\text{m}^2$  Querschnitt, Teufe 254,7m / Stollen 19 mit 120m Länge / Blindschacht 12 mit  $10,8\text{m}^2$ , Teufe 158m / Querschlag zwischen Schürfschacht 24 und Blindschacht 12 mit 1,6km Länge) erwiesen sich gemäß /14/ *als äußerst kompliziert. Bedingt durch den tonsandähnlichen Charakter der Skarn- und Marmor-gesteine, die häufig mit Wasser durchsetzt waren und sich ähnlich wie Schwimmsand verhielten, mussten die Auffahrungen (Querschnitt  $7,8\text{m}^2$ ) in der Teillagerstätte in Getriebezimmerung mit Stahlbogenausbau im maximalen Bauabstand von 0,5m erfolgen. Durch die der Auffahrung unmittelbar folgenden Deformationen waren zur Erhaltung der Grubenbaue ständig Nacharbeiten an den Stößen und der Sohle erforderlich.*
- (c) Zur Erschließung der Lagerstätten Hämmerlein und Tellerhäuser wurde im September 1967 mit der Auffahrung des so genannten Stollen Pöhla begonnen. Der Ansatzpunkt des Stollens liegt 0,7 km südöstlich des Schürfschachtes 24 im Niveau +575,4mNN. Er verläuft parallel zum Lagerstättenstreichen in südöstlicher Richtung und besitzt gemäß /14/ eine Länge von 7845,8m, der Querschnitt beträgt  $8,8\text{m}^2$  bzw.  $10,5\text{m}^2$ . Die Auffahrung im Glimmerschiefer und verskarnten Schiefer erfolgte zu 90% ohne Ausbau, auf 10% der Stollenlänge wurde Stahlbogenausbau eingesetzt.
- (d) In einer Entfernung von ca. 3000m zum Mundloch des Stollen Pöhla wurden im Bereich der Lagerstätte Hämmerlein zwei Querschläge (Querschläge 1 und 2) in nordöstliche Richtung bis zur Luchsbach Störung und in südwestliche

Richtung bis zur Rittersgrüner Störung aufgefahren. Ausgehend von den Querschlügen wurden zur Erkundung tiefer liegender Gesteinshorizonte Flächen mit einem Querschnitt von  $11,1\text{m}^2$  ohne Ausbau bzw. mit Ankerausbau aufgefahren.

- (e) Der Aufschluss der Lagerstätte Tellerhäuser begann 1970 mit dem Abteufen des Blindschachtes 1 (Querschnitt  $24,1\text{m}^2$ , 6250m Entfernung zum Stollenmundloch) vom Niveau des Stollens Pöhla ( $\approx +600\text{mNN}$ ) bis auf das Niveau der  $+240\text{mNN}$ -Sohle sowie der Auffahrung von Feldstrecken und Querschlügen auf der  $+240\text{mNN}$ -Sohle, Bild 4.8. Ausführungen zum Querschnitt der Aufschlussgrubenbaue und zum Ausbau sind in /14/ nicht enthalten.
- (f) Ab 1976 wurde der Blindschacht 2 (Querschnitt  $24,1\text{m}^2$ , 5500m Entfernung zum Stollenmundloch) bis zum Niveau der  $+120\text{mNN}$  Sohle geteuft und durch eine Verbindungsstrecke mit dem ebenfalls bis zur  $+120\text{mNN}$ -Sohle weiter geteuften Bl.-Scht. 1 verbunden, Bild 4.8.



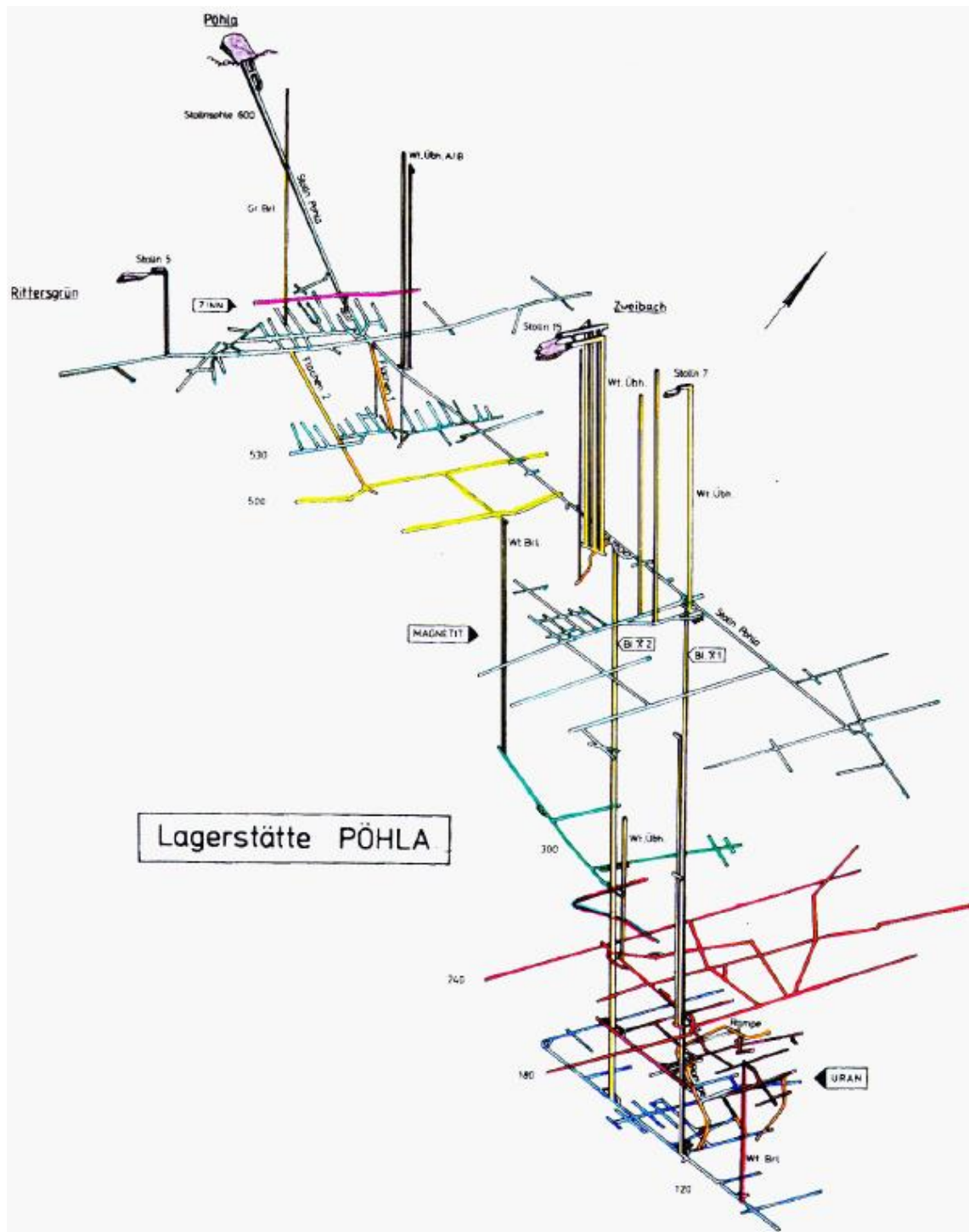


Bild 4.8: Ausrichtungsrubenbaue Lagerstätte Pöhlgraben-Tellerhäuser /14/

- (g) Die Feldstrecken und Querschläge in der Teillagerstätte Tellerhäuser wurden gemäß Aussage in /14/ *im überwiegend standfesten Gebirge mit Ankerausbau gesichert. In gebräuchtem Gebirge kamen Holztürstöcke bzw. Stahlbogenausbau zum Ein-*

*satz. Die Füllorte im Blindschacht 1 und 2 wurden in Monolith- bzw. Spritzbeton ausgebaut.*

- (h) Der tiefste Aufschluss im Bereich der Lagerstätte Tellerhäuser wurde durch ein abwärts geführtes Flachen bei +65mNN erreicht. Die vertikale Erstreckung des Grubengebäudes zwischen der Stollensohle „Stollen Pöhla“ und den tiefsten Grubenbauen beträgt damit ca. 535m. Einen visuellen Eindruck von der untertägigen Situation im Bereich des Flachenansatzpunktes auf der +120mNN-Sohle zeigt Bild 4.9. Danach ist das Gebirge im Bereich des Flachenansatzpunktes als standfest einzuschätzen.



- (i) Als Grubenbaue mit deutlich über das Strecken- bzw. Stollenprofil hinausgehenden Querschnittsabmessungen können aus /14/ die im Niveau +585mNN (Teufe 212m) der Lagerstätte Hämmerlein aufgefahrenen Experimentalblöcke 7541 und 7543 entnommen werden, Bild 4.9. *Im Block 7541 wurden drei Kammern in den Dimensionen 10m Breite, 12m Höhe und etwa 40m Länge aufgefahren.* Die Pfeiler zwischen den Kammern hatten eine Breite von 10m. Zur Sicherheit gegen Steinfall wurde die Firste mit Ankern sowie Stahlnetzen und Seilen zwischen den Ankern ausgebaut.

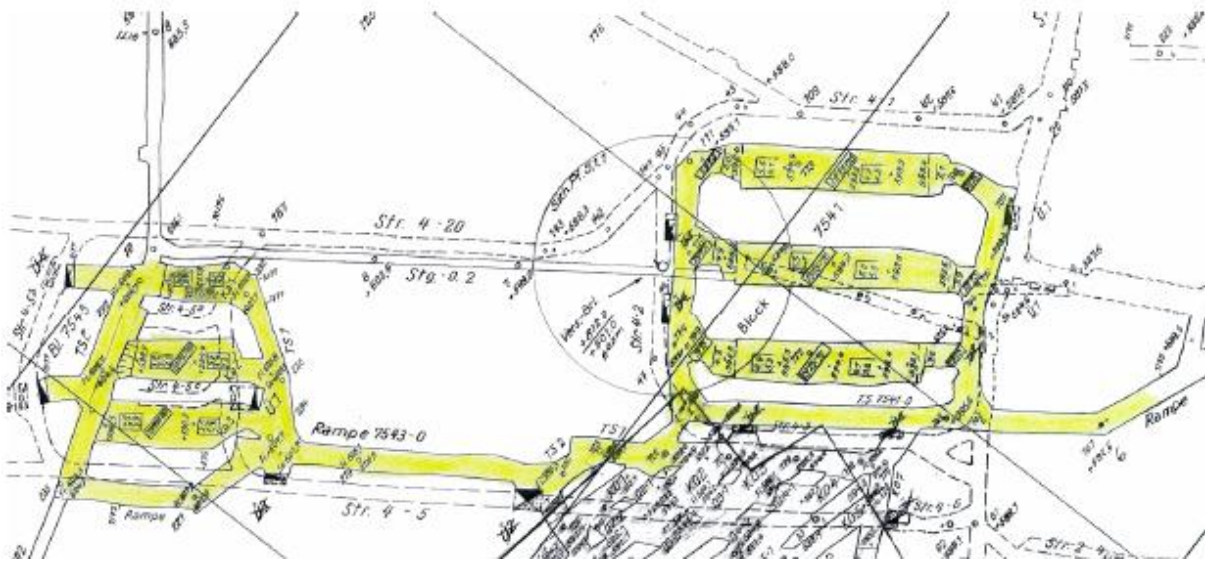


Bild 4.9: Experimentalblöcke 7541 und 7543 – Lagerstätte Hämmerlein /14/

### 4.3 Festigkeits- und Verformungseigenschaften des anstehenden Gesteins

#### 4.3.1 Referenzstandort Bad Grund

Gesteinsmechanische Untersuchungen zu den Festigkeits- und Verformungseigenschaften der im Nebengebirge des Grunder Gangzuges anstehenden Gesteine liegen nicht vor. Für eine grobe Einschätzung der mechanischen Eigenschaften der als Grauwacke, Ton-schiefer und Sandbandschiefer bezeichneten Gesteine können herangezogen werden:

- (a) Die im deutschen Steinkohlenbergbau angesetzten Druckfestigkeiten der im Sohlbereich von Gesteinsstrecken anstehenden Karbongesteine:

Formation	$\beta_{DS}$ (MPa)
Sandstein	68 – 97
Sandschiefer	45 – 68
Schieferton	28 – 45
Wurzelboden	14 – 28

- (b) Ein- und triaxiale Kompressionsversuche des Lehrstuhls für Deponietechnik und Geomechanik an Karbongesteinen gemäß Zusammenstellung in Tab. 4.1 /10/:

Petrographie	$c_B^*$ MPa	$\varphi_B^*$ °	$c_R^*$ MPa	$\varphi_R^*$ °	$E_V^*$ MPa	$E_{Entl.}^*$ MPa	$E_{NB}^*$ MPa	$\gamma^*$ kN/m <sup>3</sup>	Proben- anzahl
Schieferton, sandstreifig	17,56	38,12	1,76	37,77	11409	15712	14642	25,62	13
Schieferton, sandig	19,16	33,78	5,39	32,30	11671	13647	13026	25,81	8
Schieferton, sandig (Wur- zelboden)	7,52	38,73	2,59	34,78	8578	13562	12408	25,95	4
Schieferton, sandig, streifig	9,38	41,84	7,95	31,27	10794	15594	14981	25,67	3
Sandstein	13,04	51,66	4,43	42,15	18276	19530	14511	25,23	13

$c_B, \varphi_B$	Scherparameter (Kohäsion und Winkel der inneren Reibung) Bruchfestigkeit
$c_R, \varphi_R$	Scherparameter (Kohäsion und Winkel der inneren Reibung) Restfestigkeit
$E_V$	Verformungsmodul (Geradensteigung durch die Wendepunkte einer Ent- und Wiederbelastungsschleife im Vorbruchbereich)
$E_{Entl.}$	Entlastungsmodul (Tangente durch die Drittpunkte des Entlastungsastes einer Ent- und Wiederbelastungsschleife)
$E_{NB}$	Restverformungsmodul (Geradensteigung durch die Wendepunkte einer Ent- und Wiederbelastungsschleife im Nachbruchbereich)
$\gamma$	spezifisches Gewicht

Tab. 4.1: Festigkeitsmechanische Kennwerte von Karbongesteinen

Nach Umrechnung der in Tab. 4.1 zusammengestellten Scherparameter mit Gl. (4.1) resultiert die in Bild 4.10 gezeigte minimalspannungsabhängige Gesteinsfestigkeit.

$$\sigma_1 = 2c \cdot \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} + \sigma_3 \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (4.1)$$

mit

$c$	Kohäsion, MPa
$\varphi$	Winkel der inneren Reibung, °
$\sigma_1$	minimalspannungsabhängige Gesteinsbruchfestigkeit, MPa
$\sigma_3$	Minimalspannung, MPa

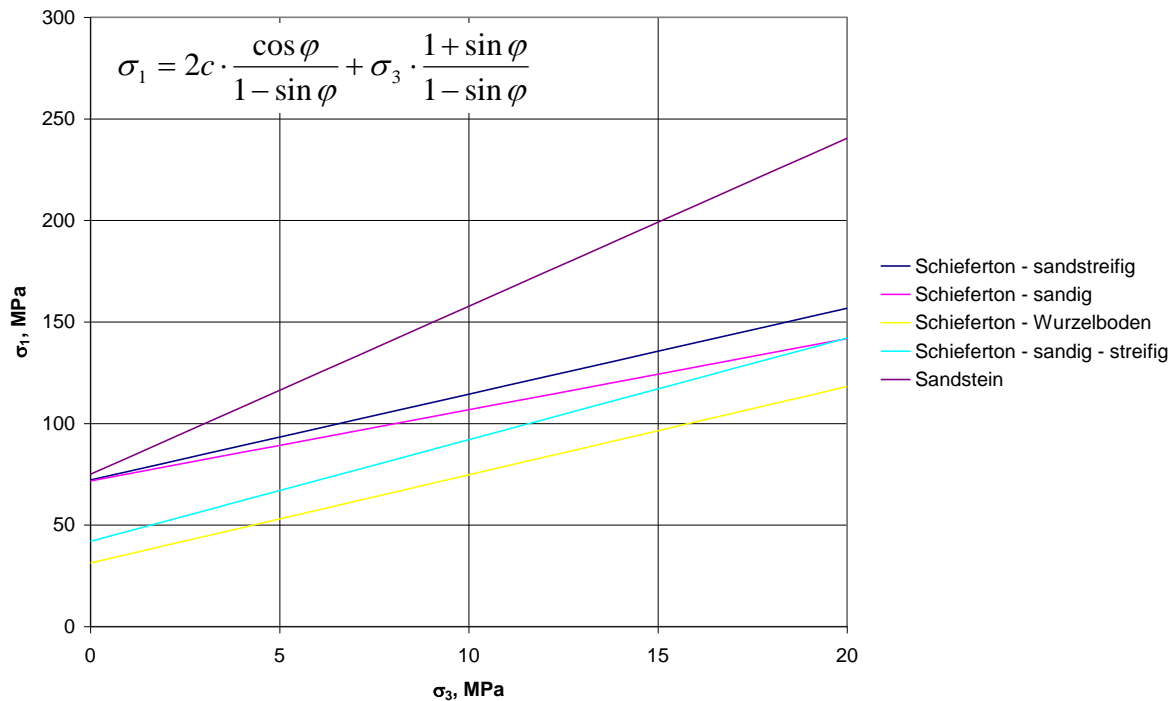


Bild 4.10: Minimalspannungsabhängige Bruchfestigkeit ausgewählter Karbongesteine /10/

Aus Bild 4.10 deutlich zu erkennen ist, dass die in /10/ untersuchten Karbongesteine eine einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit von ca. 30 MPa bis 75 MPa ausweisen und der allgemeinen Erfahrung entsprechend die Gesteinsdruckfestigkeit mit zunehmender Minimalspannung ansteigt. Auch kann aus Bild 4.10 entnommen werden, dass die laborativ ermittelten Gesteinsfestigkeiten vergleichsweise gut mit den unter (a) genannten Druckfestigkeiten korrespondieren.

Als ein dritter Indikator für die Größenordnung der Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Grauwacke und Tonschiefer können schließlich die der internationalen Literatur entnommenen und unter (c) zusammengestellten Kennwerte herangezogen werden. Auch sie bestätigen in der grundsätzlichen Tendenz die vorstehend unter (a) und (b) genannten Festigkeits- und Verformungseigenschaften, zeigen aber ein deutlich größeres Streubreitenband, welches angesichts der internationalen Herkunft der Daten vermutlich auf eine gegenüber dem bundesdeutschen Karbongebirge unterschiedliche Genese der Gesteine zurückzuführen ist.

(c) Kennwerte für Tonschiefer und Grauwacke nach /11/:

Gestein	$\sigma_u$ (MPa)	$\sigma_z$ (MPa)	E (GPa)	$\nu$ (-)
Grauwacke	30 – 502 – 5	10 – 300,05 – 0,23		
Tonschiefer	30 – >100	0,2 – >3	10 – > 40	0,08 – 0,32

#### 4.3.2 Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser

Gesteinsmechanische Untersuchungen zu den Festigkeits- und Verformungseigenschaften der im Nebengebirge des Erzfeldes Pöhla-Tellerhäuser anstehenden Gesteine liegen nicht vor. Für eine grobe Einschätzung der mechanischen Eigenschaften der insgesamt als kristalline Schiefer bezeichneten Gesteine können daher lediglich allgemeine Angaben aus der Literatur in Verbindung mit den Ausführungen zur Bergbauhistorie in /14/ herangezogen werden.

Petrographisch ist Schiefer eine Sammelbezeichnung für verfestigte, feinstkörnige Gesteine mit deutlichen flächenhaften Paralleltexuren. Ausgangsmaterial sind feinste Tone und Schlämme mit Korngrößen kleiner als 0,063 mm. Durch eine kontinuierliche Ablagerung von Tonschichten übereinander beginnt allmählich durch den Überlagerungsdruck der Vorgang der Verfestigung. Wassergehalt und Porenvolumen werden durch Setzung verringert. Mit zunehmender Versenkungstiefe wird dieser Vorgang durch die Auflast immer intensiver, bis zunächst ein fester Tonstein und letztendlich ein durch den gerichteten Druck ausgeprägt spaltbarer Tonschiefer entsteht. Im Unterschied zu Tonschiefer sind die im Bereich der Lagerstätte Tellerhäuser anstehenden kristallinen bzw. metamorphen Schiefer (Phyllite und Glimmerschiefer) aus Tonschiefer gebildet worden, der erdgeschichtlich durch hohe tektonische Drücke und Temperaturen beansprucht und dadurch verfestigt worden ist. Abhängig vom Metamorphosegrad, d.h. von der Intensität und Dauer der Einwirkung von Druck und Temperatur werden niedrigmetamorphe (→z.B. Phyllite) und höhermetamorphe (→z.B. Glimmerschiefer) Schiefer unterschieden. Bezüglich der Gesteinsfestigkeit kann im Grundsatz unterstellt werden, dass mit zunehmendem Metamorphosegrad die Bruchfestigkeit der Gesteine ansteigt und die Richtungsabhängigkeit der Materialeigenschaften abnimmt. Vor dem Hintergrund der vorstehend skizzierten Bildungsbedingungen und der Richtungsabhängigkeit der Materialeigenschaften (pa-

rallel bzw. senkrecht zur Schichtung) überrascht es nicht, dass die nachfolgend auf der Grundlage von Angaben aus der einschlägigen Literatur zusammengestellten Kennwerte zu den mechanischen Eigenschaften kristalliner Schiefer ein vergleichsweise großes Streubreitenband ausweisen.

Mechanische Kennwerte für kristalline Schiefer nach /11/:

Gestein	$\sigma_u$ (MPa)	$\sigma_z$ (MPa)	E (GPa)	$\nu$ (-)
Kristalline Schiefer	50 – 800,5	5 – 20	700,05	– 0,8
Phyllit	5 – 15	-	50 – 180,02	– 0,25
Hornblende	130-245	5 – 10	40 – 870,1	– 0,3

Informationen zur minimalspannungsabhängigen Entwicklung der Gesteinsfestigkeit und zu den Scherparametern  $c$  (Kohäsion) und  $\phi$  (Winkel der inneren Reibung) liegen für die Gesteine im Bereich der Lagerstätte Pöhla – Tellerhäuser nicht vor.

#### **4.4 Festigkeits- und Verformungseigenschaften des anstehenden Gebirges**

##### **4.4.1 Referenzstandort Bad Grund**

Von besonderer Bedeutung für die Einschätzung des Tragverhaltens von Grubenbauen im Festgestein ist die so genannte Gebirgsfestigkeit. Sie unterscheidet sich deutlich von der am Handstück ermittelten Gesteinsfestigkeit durch die festigkeitsreduzierende Wirkung von Klüften und Trennflächen. Sofern die im anstehenden Gebirge vorhandenen Klüfte und Trennflächen eine zu den Bruchflächen des Gesteinsprüfkörpers vergleichbare Ausbildung ausweisen, kann die im Laborversuch ermittelte Rest- bzw. Nachbruchfestigkeit als Maß für das Tragvermögen eines vollständig zerbrochenen Gebirges herangezogen werden. Die Rest- bzw. Nachbruchfestigkeiten charakterisieren die Reibungsfestigkeit des zerbrochenen Gesteinsmaterials. Zu erwarten wäre vor dem Hintergrund der vorstehend skizzierten Überlegung, dass das Tragvermögen des in situ anstehenden Gebirges zwischen der Gesteinsbruchfestigkeit und der Gesteinsrestfestigkeit lokalisiert ist. Dabei bleibt jedoch unberücksichtigt, dass im Vergleich zu den in der Regel scharfkantigen und trockenen Bruchstücken eines über seine Festigkeit hinaus beanspruchten Gesteinsprüf-



körpers die Trennflächen im anstehenden Gebirge durch z.B. Lettenbeläge, Gesteinsmehl, Wasserführung und Harnischflächen auch deutlich geringere Reibungsfestigkeiten ausweisen können.

Eine empirische Möglichkeit die tatsächlich erforderliche Reduktion des Tragvermögens bei Übergang von der Gesteinsfestigkeit zur Gebirgsfestigkeit zumindest überschlägig in Abhängigkeit von der Ausbildung eines Trennflächengefüges zu ermitteln ist durch den mit Gl. (3.9) bzw. Gl. (4.2) gegebenen Formalismus möglich.

$$\beta_{1G} = \sigma_3 + \sqrt{(m \cdot \beta_{1u} \cdot \sigma_3 + s \cdot \beta_{1u}^2)} \quad (4.2)$$

mit

- $\beta_{1G}$  Gebirgsdruckfestigkeit, MPa
- $\sigma_3$  minimale Gebirgsspannung, MPa
- $\beta_{1u}$  einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit, MPa
- $m, s$  Gebirgsparameter, -

Gemäß den Ausführungen in Abschnitt 3.4.3 können bei Kenntnis des RMR-Wertes die Parameter  $m$  und  $s$  für unterschiedliche Gesteinsarten festgelegt werden. Für Tonstein und Tonschiefer ergeben sich bei einem Wert von  $RMR = 65$  bzw.  $RMR = 85$ :

$RMR = 65$	$RMR = 85$
$m = 1$	$m = 5$
$s = 0,004$	$s = 0,1$

Eine Gegenüberstellung der gemäß Gl. (4.2) mit  $m = 1$  und  $s = 0,004$  berechneten Gebirgsdruckfestigkeiten mit den im Rahmen der Laboruntersuchungen in /10/ ermittelten Rest- bzw. Nachbruchfestigkeiten zeigt Bild 4.11.

Aus Bild 4.11 ist deutlich zu erkennen, dass bei Ansatz einer mittleren Gebirgsqualität von  $RMR \approx 65$  die im Laborversuch ermittelte Gesteins-Restfestigkeit noch deutlich größer ist, als die empirisch eingeschätzte Gebirgsfestigkeit. In der Konsequenz bleibt daher festzuhalten, dass das Gebirgstragvermögen im geklüfteten Fels offensichtlich weniger durch die Gesteinsfestigkeit bestimmt wird, sondern vielmehr signifikant abhängig ist von der Ausbildung des Trennflächengefüges.

Als Gebirgsscherparameter  $c_G$  und  $\varphi_G$  für den Spannungsbereich  $0 \text{ MPa} < \sigma_3 < 6 \text{ MPa}$  können entsprechend der Darstellung in Bild 4.11 abgeleitet werden:

Obergrenze Gebirgsfestigkeit oG:  $c_G = 1,2 \text{ MPa}$  ;  $\varphi_G = 38^\circ$

Untergrenze Gebirgsfestigkeit uG:  $c_G = 0,8 \text{ MPa}$  ;  $\varphi_G = 28^\circ$

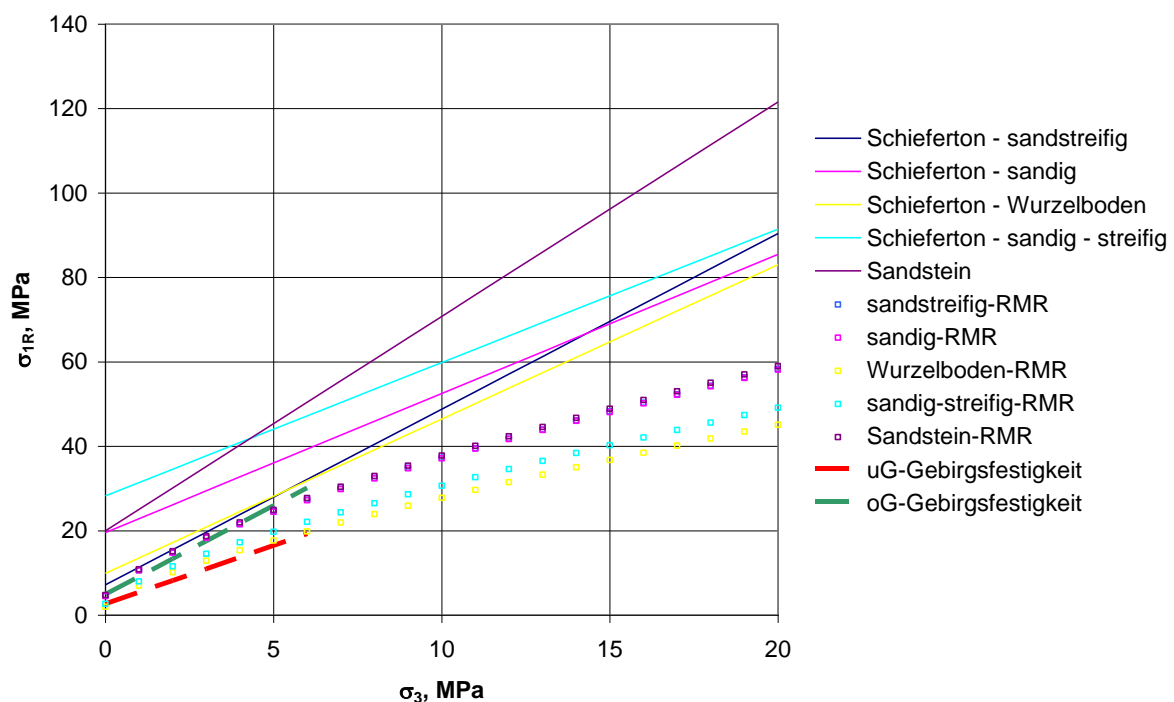


Bild 4.11: Gegenüberstellung der minimalspannungsabhängigen Gesteins-Restfestigkeit ausgewählter Karbonate nach /10/ und der nach /7/ berechneten Gebirgsdruckfestigkeit

#### 4.4.2 Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser

Unter Verweis auf die Ausführungen im vorstehenden Abschnitt 4.4.1 ist auch für das im Projektgebiet der Lagerstätte Tellerhäuser anstehende kristalline Schiefergebirge zu unterstellen, dass abhängig von der Intensität und Ausbildung der Trenn- und Schichtflächen die Gebirgsfestigkeit deutlich kleiner ist als die Gesteinsfestigkeit bzw. die Verformungsfähigkeit des großräumigen Gebirges größer ist, als die im Laborversuch an Gesteinsprüfkörpern ermittelte Verformungsfähigkeit. Auf eine zur Vorgehensweise in Abschnitt 4.4.1

analoge quantitative Grobeinschätzung der Gebirgstragfähigkeit auf Basis der Gesteinsfestigkeit wird angesichts fehlender laborativer Untersuchungen zur Bruch- und Nachbruchfestigkeit kristalliner Schiefer verzichtet. Für die im Rahmen des vorliegenden Projektes erforderliche Grobeinschätzung des Gebirgstragverhaltens wird vermutet und unterstellt, dass die festigkeitsmechanischen Eigenschaften der höher metamorph überprägten kristallinen Schiefer nicht schlechter sind, als die für Tonschiefer des Referenzstandortes Bad Grund angenommenen Kennwerte. Bezüglich der zwischen Tagesoberfläche und ca. 150m Teufe am Standort Tellerhäuser ausgewiesenen Phyllite wird zunächst festgelegt, dass eine Auffahrung von Grubenbauen in dieser Formation aus Gründen des vermutlich deutlich reduzierten und aufgrund der blättrigen Struktur der Phyllite auch deutlich richtungsabhängigen Tragvermögens nicht erfolgen sollte, wenn auf einen Unterstützungsausbau zur Gewährleistung der Standsicherheit soweit wie möglich verzichtet werden soll.

## **5. Rechnerische Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes auf der Grundlage empirischer und analytischer Verfahren**

### **5.1 Vorbemerkung**

Ziel der nachfolgenden Überslagsberechnungen ist es, auf der Basis der in Abschnitt 3 dokumentierten einfachen gebirgsmechanischen Verfahren eine erste Grobeinschätzung zur grundsätzlichen geomechanischen Machbarkeit von Oberbecken, Unterbecken und Druckstollen an den Referenzstandorten Bad Grund und Pöhla-Tellerhäuser im Sinne einer der Konzeptplanung vorangehenden Studie zu erarbeiten. Mit Bezug auf die Ausführungen in Abschnitt 4 bleibt hierbei ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass die in die Berechnungen eingehenden Gesteins- und Gebirgskennwerte nur rudimentär und letztlich unzureichend vorliegen, sodass die Ergebnisse der geomechanischen Betrachtungen in weiten Teilen auf Annahmen beruhen, die im Rahmen einer fortgesetzten Projektplanung zu belegen und zu verifizieren sind. Zur Bestätigung und Begründung vorstehender Einschätzung kann z.B. auf den Umfang der Erkundungsarbeiten für die Auslegung der untertägigen Felskavernen (Maschinenkaverne mit  $L \times B \times H = 137\text{m} \times 26\text{m} \times 49\text{m}$ ; Trafokaverne mit  $L \times B \times H = 122\text{m} \times 15\text{m} \times 17\text{m}$ ), der Unterwasserstollen (2 Stollen mit 275m bzw. 279m Länge und 9,60m Ausbruchsdurchmesser) und die übertägigen

Dammaufstandsflächen des Pumpspeicherwerkes Goldisthal verwiesen werden. Gemäß /13/ wurden im Zuge der ingenieurgeologischen Erkundung 459 Kernbohrungen mit einer Gesamtlänge von 22688m Bohrmetern geteuft, 4000m Erkundungsstrecken mit einem Querschnitt von  $9\text{m}^2$  aufgefahren sowie umfangreiche Feld- und Laborversuche zur Ermittlung felshydraulischer und felsmechanischer Kennwerte durchgeführt. Die vorstehenden Zahlenwerte dokumentieren eindrucksvoll den bei vergleichbaren Ingenieurprojekten erforderlichen Planungs- und Erkundungsaufwand und belegen nachhaltig die Einschätzung, dass die geomechanischen Arbeiten im Rahmen der vorliegenden Projektstudie lediglich geeignet sind, eine erste Vorstellung von der grundsätzlichen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes zu erarbeiten, nicht jedoch eine hinreichend abgesicherte Aussage zur standortbezogenen Tragwerkssicherheit.

Als technische Randbedingungen für die geomechanische Auslegung von Oberbecken, Unterbecken und Druckstollen sind zu berücksichtigen:

- a) Speicherbeckenvolumen  $V \geq 320.000 \text{ m}^3$
- b) Turbinenvolllastbetrieb  $4h \rightarrow \dot{V} = \frac{320000\text{m}^3}{4h} \approx 22\text{m}^3 / s$
- c) Maximale Fließgeschwindigkeit im Druckstollen  $v_{D\max} \leq 7,5\text{m/s}$
- d) Durchmesser Druckstollen  $d_D \approx 3\text{m}$  ( $A_D \approx 7\text{m}^2$ ,  $v_D = \frac{22\text{m}^3 / s}{7\text{m}^2} = 3,14\text{m/s}$ )
- e) Maximale Fließgeschwindigkeit in Ober- und Unterbecken  $v_{B\max} \leq 1\text{m/s}$
- f) Höhendifferenz zwischen Ober- und Unterbecken  $\Delta z \geq 500\text{m}$

Die unter (a) bis (f) zusammengestellten Planungsgrößen definieren betriebstechnisch erforderliche Mindestquerschnitte der untertägig aufzufahrenden Grubenbaue um einerseits die geplante Kraftwerksleistung von ca. 100 MW zu gewährleisten und andererseits auf eine hydraulische Auskleidung der Grubenbaue zur Reduzierung von Strömungswiderständen soweit wie möglich verzichten zu können. Hinzu kommt aus wirtschaftlichen Erwägungen die Forderung, soweit möglich auf einen Unterstützungsausbau zu verzichten, bzw. diesen auf einfache Maßnahmen der First- und Stoßsicherung zu beschränken. Unter weiterer Berücksichtigung der an den Referenzstandorten Bad Grund und Pöhla – Tellerhäuser anstehenden Gebirgseigenschaften erscheint damit die Auffahrung weniger,

großvolumiger Grubenbaue für die Wasserspeicherung in Ober- und Unterbecken nicht bzw. wenig zielführend. Vielmehr wird unter Berücksichtigung der vorstehend genannten Anforderungen die Auffahrung eines Mehrfachstreckensystems als Speicherhohlraum favorisiert.

Ausdrücklich darauf hinzuweisen ist, dass die unter (a) bis (f) zusammengestellten „Eckdaten“ auf der Basis mittlerer, gleichförmiger bzw. über den Querschnitt der Grubenbaue homogen verteilter Fließgeschwindigkeiten ermittelt wurden. Tatsächlich zeigen jedoch bereits erste, begleitend zu den gebirgsmechanischen Untersuchungen durch die Projektpartner durchgeführte hydrodynamische Berechnungen zur Verteilung der Wasserfließgeschwindigkeiten, dass abhängig von der geometrischen Konfiguration der Speicherhöhlräume, der Entfernung zu Turbine und Generator und der Betriebsart (Generatorbetrieb, Pumpenbetrieb) die Fließgeschwindigkeit des Wassers nicht als konstant über den Querschnitt der Grubenbaue angesetzt werden kann. Damit ist ausgesagt, dass die im Rahmen der nachfolgenden Grobplanung auf der Grundlage erster geomechanischer Überlegungen erarbeitete Konfiguration der untertägigen Grubenbaue des Pumpspeichers mit zunehmender Planungstiefe modifiziert und optimiert werden muss. Vorstehende Aussage gilt sowohl bzgl. der mit zunehmender Planungstiefe und Erkundung der Projektgebiete vorliegenden Informationen zum Gebirgsbau und zum Gebirgstragverhalten als auch für die wechselseitigen Abhängigkeiten eines gleichermaßen gebirgsmechanisch, fluidmechanisch, bergtechnisch und betriebstechnisch optimierten Entwurfs.

Die Methodik der nachfolgenden gebirgsmechanischen Grobeinschätzung des Tragverhaltens von Oberbecken, Unterbecken und Druckstollen ist daher charakterisiert durch eine Vorgehensweise, bei der für eine vorgegebene Grubenraumkonfiguration (→Mehrfachstreckensystem) die grundsätzliche gebirgsmechanische Machbarkeit unter Berücksichtigung standortspezifischer Gegebenheiten aufgezeigt wird. Dazu wird von der in Bild 5.1 skizzierten Situation ausgegangen. Entsprechend der Darstellung in Bild 5.1 sind sowohl das Ober- als auch das Unterbecken charakterisiert durch ein zweiflügelig an den Druckstollen angeschlossenes System paralleler Speicherstrecken von jeweils 250m Länge und 5m Breite. Die zwischen zwei unmittelbar benachbarten Speicherstrecken angeordneten Festen besitzen eine Breite von 15m. Jeder der links und rechts des Druckstollens lokalisierten Flügel ist charakterisiert durch insgesamt 19 Speicherstrecken, die wiederum zweiflügelig an eine mit dem Druckstollen verbundene Sammelstrecke angebunden sind.

Zur Reduzierung der freigelegten Firstspannweite im Bereich der Streckenkreuze erfolgt der Anschluss der Speicherstrecken an die Sammelstrecke mit einem Versatz von 10m.

Voraussetzung für die mögliche Umsetzung bzw. Realisierung der vorstehend skizzierten Konfiguration ist, dass an den Referenzstandorten Bad Grund und Pöhla – Tellerhäuser sowohl im Teufenniveau des Oberbeckens als auch im Teufenniveau des Unterbeckens ein außerhalb der Vererzungen lokalisierter Gebirgsbereich von ca. 500m x 500m aufgeschlossen werden kann, der frei ist von gebirgsmechanisch relevanten tektonischen Störungen.

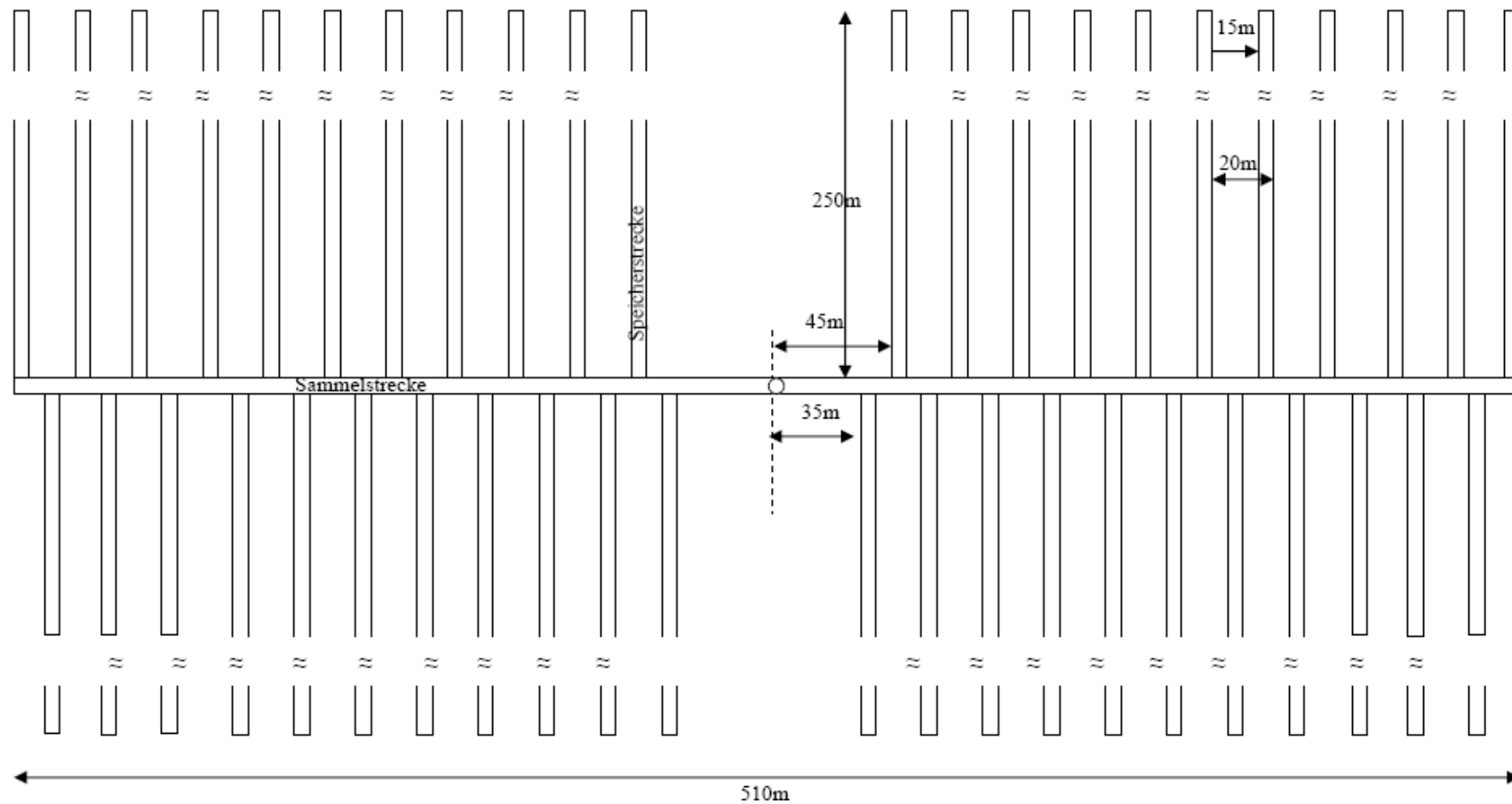


Bild 5.1: Konfiguration Ober- und Unterbecken



Die Mächtigkeit der Sicherheitsfeste zwischen den beiden Flügeln der Speicherstrecken und dem Druckstollen ist entsprechend der Darstellung in Bild 5.1 mit 35m bzw. 45m angesetzt.

Eine vereinfachte Darstellung des angesetzten Streckenprofils zeigt Bild 5.2.

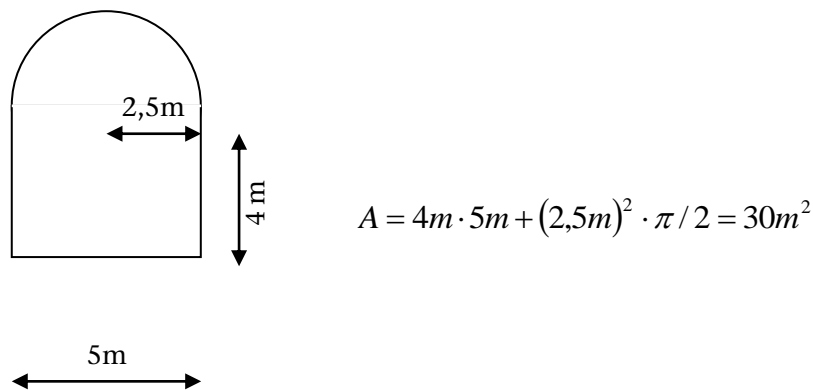


Bild 5.2: Streckenprofil Speicher- und Sammelstrecken

Danach wird im Rahmen der gebirgsmechanischen Einschätzungen ein Streckenquerschnitt von  $b = 5m$  Breite und  $h = 7,5m$  Höhe mit kreisförmiger Firstausrundung angesetzt. Der Ausbruchsquerschnitt der in Bild 5.2 skizzierten Geometrie ergibt sich zu  $A = 30m^2$ . Der Ansatz des Streckenprofils erfolgte unter der Zielstellung einer aus grundsätzlichen Erwägungen zur Abtragung der Deckgebirgslasten gewählten Ausrundung der Grubenbaufirste und einer in Anlehnung an die in Abschnitt 4 zusammengestellten bergtechnischen Befunde gewählten Streckenbreite. Die Notwendigkeit einer entsprechend den vorstehenden Ausführungen erforderlichen Anpassung und Optimierung des Streckenprofils an fluidmechanische, bergtechnische und betriebstechnische Anforderungen bleibt hiervon unberührt.

Das rechnerische Speichervolumen der vorstehend skizzierten Konfiguration beträgt:

$44 \text{ Speicherstrecken} \times 250m \times 30m^2 = 330.000m^3 + 1 \text{ Sammelstrecke} \times 510m \times 30m^2 = 15.300m^3 = 345.300m^3$  und erfüllt damit die einleitend zusammengestellten technischen Anforderungen an die geplante Systemgröße.

Die maximale Fließgeschwindigkeit des Wassers bei einer Turbinenleistung von  $22m^3/s$  kann bei Vernachlässigung hydraulischer Widerstände und einer über den Streckenquer-

schnitt als homogen und konstant angesetzten Fließgeschwindigkeit wie folgt abgeschätzt werden:

Sammelstrecke: 
$$v_{S\max} = \frac{22m^3/s}{30m^2} \cdot \frac{1}{2} = 0,37m/s$$

Speicherstrecke: 
$$v_{Sp\max} = \frac{22m^3/s}{30m^2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{22} = 0,017m/s$$

Druckstollen: 
$$v_{D\max} = \frac{22m^3/s}{7m^2} = 3,1m/s$$

## **5.2 Rechnerische Grobeinschätzungen zur geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Referenzstandort Bad Grund**

### **5.2.1 Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit nach der Methode der Gebirgsklassifikation**

Zur Einschätzung der grundsätzlichen Machbarkeit der vorstehend skizzierten Konfiguration von Oberbecken, Unterbecken und Druckstollen nach der Methode der Gebirgsklassifikation werden für den Referenzstandort Bad Grund jeweils eine im Bereich des oberen und des unteren Streubreitenbandes eingeschätzte Gebirgsqualität angesetzt bzw. eingeschätzt. Unter Verweis auf die Ausführungen zur Anwendung der Klassifikationsverfahren in Abschnitt 3 in Verbindung mit den in Abschnitt 4 dokumentierten Informationen zur Ausbildung des anstehenden Gebirges folgt:

#### 1) Einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit:

$$\min\beta_{1u} = 36 \text{ MPa} \rightarrow \text{RMR} = 3 \text{ Pkt.}$$

$$\max\beta_{1u} = 75 \text{ MPa} \rightarrow \text{RMR} = 5 \text{ Pkt.}$$

#### 2) RQD-Wert:

$$\min\text{RQD} = 66\% - 75\% \rightarrow \text{RMR} = 15 \text{ Pkt.}$$

$$\max\text{RQD} = 76\% - 90\% \rightarrow \text{RMR} = 18 \text{ Pkt.}$$

3) Trennflächenabstand:

Minimal: Trennflächenabstand 5cm / 0,2m / 2m —RMR = 6 Pkt.

Maximal: Trennflächenabstand 2m / 2m / 5m —RMR = 25 Pkt.

4) Trennflächenausbildung:

Minimal: wellenartig / glatt / feinkörniges, weiches Gesteinsmehl

—RMR = 30 Pkt.  $\times 0,9 \times 0,72 \times 0,75 = 14$  Pkt.

Maximal: wellenartig, eng, weicher als Gebirge

—RMR = 30 Pkt.  $\times 0,95 \times 0,95 \times 0,9 = 24$  Pkt.

5) Grubenwasser:

Minimal: Zufluss auf 5km Länge =  $5\text{m}^3 / \text{min} = 10\text{l/min}$  auf 10m Streckenlänge

—RMR = 7 Pkt.

Maximal: Zufluss auf 5km Länge =  $5\text{m}^3 / \text{min} = 10\text{l/min}$  auf 10m Streckenlänge; Berücksichtigung, dass mehrere Sohlen an Wasserhaltung angeschlossen sind

—RMR = 8 Pkt.

Summe (1) bis (5):

Minimum RMR = 45 Pkt. —mittlere Gebirgsqualität

Maximum RMR = 80 Pkt. —gute Gebirgsqualität

Mit Verweis auf die Darstellung in Bild 5.3 können bei Ansatz eines Wertes von RMR = 45 temporär unausgebaute Grubenbauspännweiten von 2 bis 7m realisiert werden. Für unausgebaute Stützweiten von  $s_{uw} \leq 2\text{m}$  resultiert nach dem RMR-Verfahren auch langfristig kein Ausbauerfordernis. Für unausgebaute Stützweiten von  $2\text{m} \leq s_{uw} \leq 7\text{m}$  resultiert nach dem RMR-Verfahren innerhalb weniger Tage bis Stunden ein Bruchversagen.

Bei Ansatz eines Wertes von RMR = 80 können entsprechend der Auftragung in Bild 5.3 temporär unausgebaute Grubenbauspännweiten von 4 bis 35m realisiert werden. Für unausgebaute Stützweiten von  $s_{uw} \leq 4\text{m}$  resultiert bei einer Gebirgsqualität von RMR = 80 auch langfristig kein Ausbauerfordernis. Für unausgebaute Stützweiten von  $4\text{m} \leq s_{uw} \leq$

35m ist gemäß Aussage des RMR-Verfahrens bei Ansatz einer Gebirgsqualität von RMR = 80 ein Bruchversagen erst nach Jahren bis Jahrzehnten zu erwarten.

Durch Umstellung der mit Gl. (3.3) gegebenen Beziehung zwischen der Gebirgsklassifikation nach dem RMR-Verfahren und der Gebirgsklassifikation nach dem TQI-Verfahren können die zu RMR = 45 und RMR = 80 korrespondierenden Q-Werte wie folgt berechnet werden:

$$RMR = 9 \cdot \ln(Q) + 44 \Leftrightarrow Q = \exp\left(\frac{RMR - 44}{9}\right) \quad (5.1)$$

$$RMR = 45: \quad \rightarrow \quad Q = 1,12$$

$$RMR = 80: \quad \rightarrow \quad Q = 54,6$$

Mit Verweis auf den Formalismus zur Berechnung der unausgebauten Stützweite auf Basis des TQI-Verfahrens entsprechend Gl. (3.2) folgt aus vorstehenden Q-Werten:

$$Q = 1,12: \quad S = 2 \cdot 1,6 \cdot 1,12^{0,4} = 3,3m$$

$$Q = 54,6: \quad S = 2 \cdot 1,6 \cdot 54,6^{0,4} = 15,8m$$

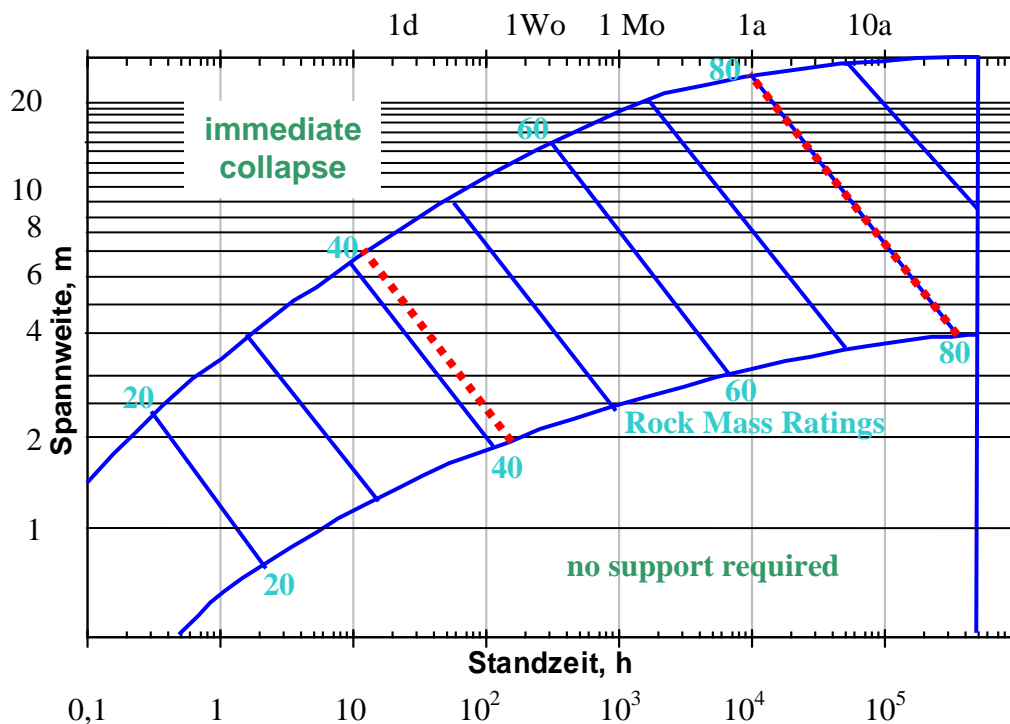


Bild 5.3: Zusammenhang zwischen RMR-Wert, Grubenbauspännweite und unausgebaute Standzeit – Ergebnisse für RMR = 45 und RMR = 80

Schließlich kann auf Basis der zu minimal  $\min\beta_{1u} = 36$  MPa bzw. zu maximal  $\max\beta_{1u} = 75$  MPa angesetzten einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit ausgesagt werden, dass nach dem RAG-Verfahren

- a) bei  $\min\beta_{1u} = 36$  MPa bis zu einer Teufe von ca. 820m und bei
- b)  $\max\beta_{1u} = 75$  MPa bis zu einer Teufe von ca. 1200m

keine Auffahrkonvergenz prognostiziert wird, d.h. ein nachhaltiger Verbruch des grubenbaunahen Gebirges nicht zu erwarten ist, Bild 5.4.

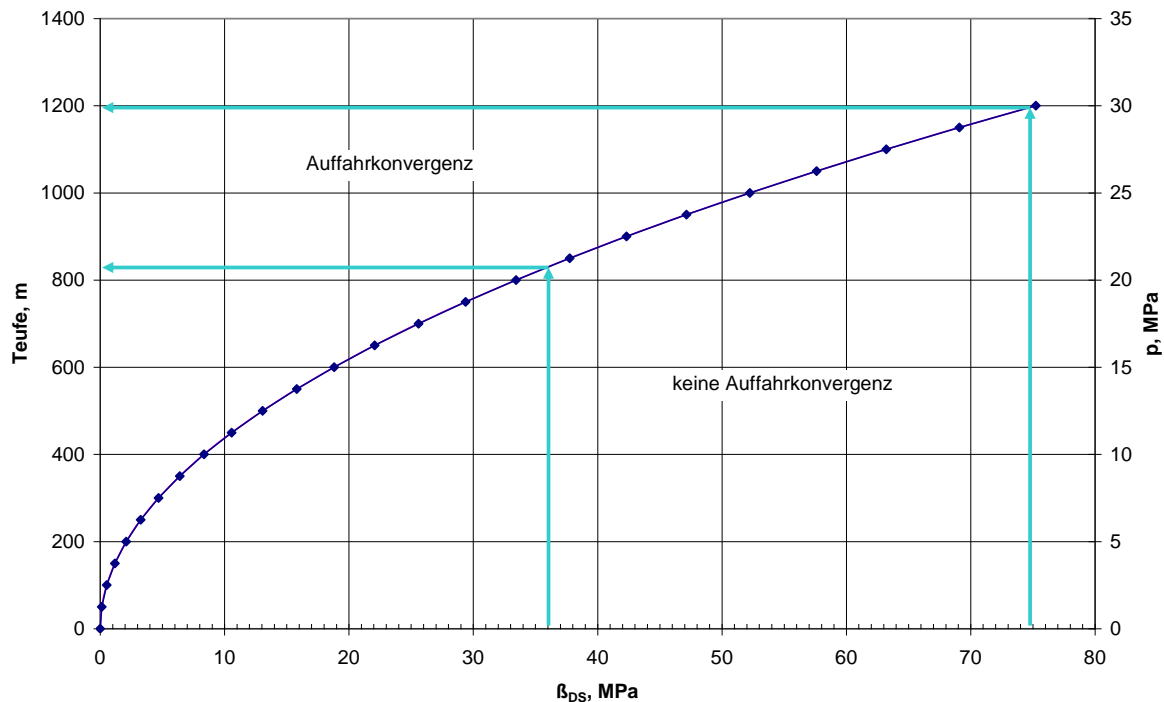


Bild 5.4: Maximalteufen für  $\beta_{DS} = 36$  MPa bzw.  $\beta_{DS} = 75$  MPa ohne Auffahrkonvergenz

Als Fazit der vorstehenden Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Referenzstandort Bad Grund nach der Methode der Gebirgsklassifikation bleibt zusammenfassend zunächst festzuhalten, dass die ermittelten Ergebnisse keine Hinweise geben, die einer möglichen Realisierung der in den Bildern 5.1 und 5.2 skizzierten Konfiguration widersprechen.

### 5.2.2 Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit nach der Methode der analytischen Berechnung

Für die Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit des geplanten Pumpspeicherwerkes auf der Grundlage analytischer Verfahren wird der in Bild 5.2 gezeigte Streckenquerschnitt durch ein konservativ einhüllendes kreisförmiges Streckenprofil idealisiert. Entsprechend der Darstellung in Bild 5.5 beträgt der Durchmesser der Einhüllenden 7,5m; die Querschnittsfläche berechnet sich zu  $44,2\text{m}^2$ .



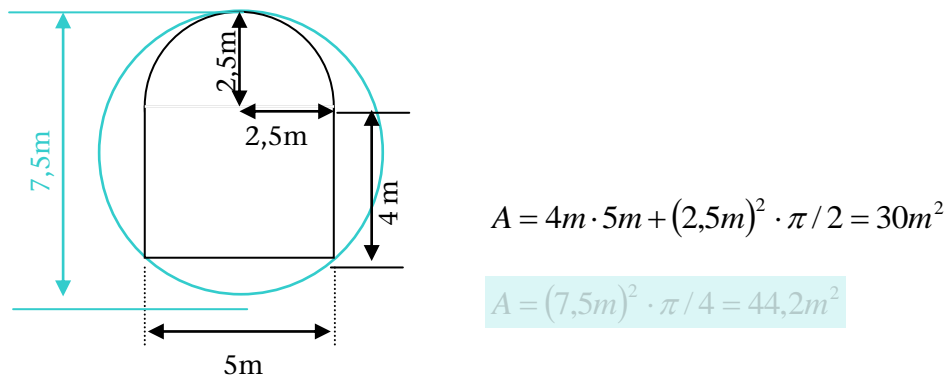


Bild 5.5: Idealisierung des Streckenprofils für Speicher- und Sammelstrecken durch einen kreisförmigen Querschnitt

Die bei Anwendung der in Abschnitt 3 dokumentierten Gleichungen (3.15) und (3.16) für ein im Teufenniveau des Unterbeckens lokalisiertes Parallelstreckensystem resultierenden Radial- und Tangentialspannungen im umgebenden Gebirge zeigt Bild 5.6. Aus Bild 5.6 ist zu erkennen, dass die maximale Gebirgsbeanspruchung im Bereich der Abbaustöße zu  $\sigma_{\phi} = 2 \cdot \sigma_v = 2 \times 0,026 \text{ MN/m}^3 \times 800 \text{ m} = 42 \text{ MPa}$  und  $\sigma_r = 0 \text{ MPa}$  berechnet wird. Ein Vergleich dieser Beanspruchung mit der im unteren Streubreitenband eingeschätzten minimalen einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit von  $\min \beta_{1u} = 36 \text{ MPa}$  zeigt, dass im unmittelbaren Stoßbereich der Strecken eine Auflockerung des Gebirges nicht ausgeschlossen werden kann, d.h. rechnerisch ein Ausbauerfordernis ausgewiesen wird. Eine analoge Berechnung der Radial- und Tangentialspannungen für ein im Teufenniveau des Oberbeckens lokalisiertes Parallelstreckensystem resultiert in einer maximalen Gebirgsbeanspruchung in der Größenordnung von  $\sigma_{\phi} = 2 \cdot \sigma_v = 2 \times 0,026 \text{ MN/m}^3 \times 200 \text{ m} = 10,4 \text{ MPa}$  und  $\sigma_r = 0 \text{ MPa}$ . Eine Gegenüberstellung dieser Beanspruchung mit der einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit zeigt, dass die im unteren Streubreitenband eingeschätzte einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit lediglich zu  $\eta = 10,4 \text{ MPa} / 36 \text{ MPa} = 29\%$  ausgenutzt wird. In der Konsequenz kann geschlussfolgert werden, dass bereits eine nur geringfügig oberhalb des unteren Streubreitenbandes angesetzte Gesteinsdruckfestigkeit rechnerisch standfeste Verhältnisse auch dann ausweist, wenn auf einen Ausbaustützdruck verzichtet wird.

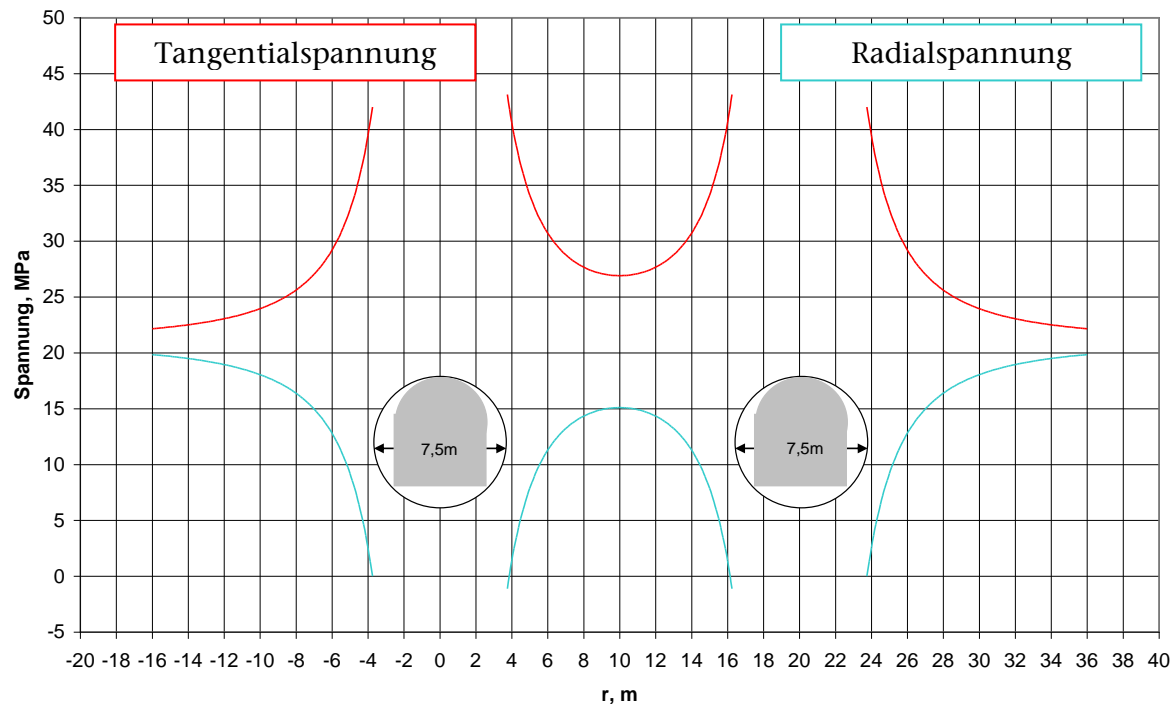


Bild 5.6: Radial- und Tangentialspannungen im Umfeld einer unausgebauten Strecke bei Ansatz eines ebenen Verzerrungszustandes im elastischen, homogenem, isotropen Gebirge ( $-K_0 = 1$ ,  $p_i = 0$  MPa,  $\sigma_v = 0,026 \text{ MN/m}^3 \times 800\text{m}$ )

Wird dagegen entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 4 der rechnerisch ermittelte Beanspruchungszustand einer mit  $\text{RMR} = 65$  ermittelten einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit gegenübergestellt, so resultieren rechnerisch sowohl im Teufenniveau des Oberbeckens als auch im Teufenniveau des Unterbeckens deutliche Überschreitungen der einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit. Erst wenn die mechanische Qualität des Gebirges mit  $\text{RMR} = 80$  und  $\beta_{1u} = 75 \text{ MPa}$  im Bereich des oberen Streubreitenbandes angesetzt wird, werden Ausnutzungsgrade der einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit berechnet, die in etwa dem Niveau der Ausnutzungsgrade der einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit entsprechen:

- a) Ausnutzung der einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit im Teufenniveau des Unterbeckens:

$$\eta_{\text{Gebirge-}\sigma_3=0} = \frac{42}{\sqrt{0,1 \cdot 75^2}} = 177\%$$

b) Ausnutzung der einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit im Teufenniveau des Oberbe-

$$\text{ckens: } \eta_{\text{Gebirge-}\sigma_3=0} = \frac{10,4}{\sqrt{0,1 \cdot 75^2}} = 44\%$$

In vorstehender Betrachtung noch unberücksichtigt ist, dass sich entsprechend der Darstellung in Bild 5.6 im Pfeilergestein zwischen zwei Parallelstrecken tatsächlich eine von Null verschiedene Radial- bzw. Minimalspannung berechnet, sodass ausgehend vom Streckenstoß hin zur Pfeilermite eine kontinuierlich zunehmende triaxiale Einspannung des Gesteins- bzw. Gebirges resultiert. In der Konsequenz sind die vorstehenden Aussagen in ihrer Gültigkeit beschränkt auf den unmittelbaren Stoßbereich der Speicher- und Sammelstrecken. Für eine rechnerische Einschätzung der Gebirgsdruckfestigkeit im Gebirgsbereich zwischen Streckenstoß und Pfeilermite ist entsprechend Gl. (4.2) die Größe der zwischen Streckenstoß und Pfeilermite zunehmenden Minimalspannung zu berücksichtigen. Eine diesbezügliche Berechnung für eine im Bereich des unteren Streubreitenbandes angesetzte Gebirgsqualität mit  $m = 1$ ,  $s = 0,004$  und  $\beta_{1u} = 36 \text{ MPa}$  zeigt Bild 5.7. Danach ist der Gebirgsbereich, indem rechnerisch eine Überschreitung der Gebirgsdruckfestigkeit ausgewiesen wird charakterisiert durch eine Konturzone von ca. 1,5m bis 2,0m Mächtigkeit.

Eine zu Bild 5.7 analoge Darstellung mit Berücksichtigung einer im oberen Bereich des Streubreitenbandes angesetzten Gebirgsqualität zeigt Bild 5.8. Danach ist der Gebirgsbereich, indem rechnerisch eine Überschreitung der Gebirgsdruckfestigkeit ausgewiesen wird auf eine geringmächtige Konturzone von ca. 0,2m begrenzt.

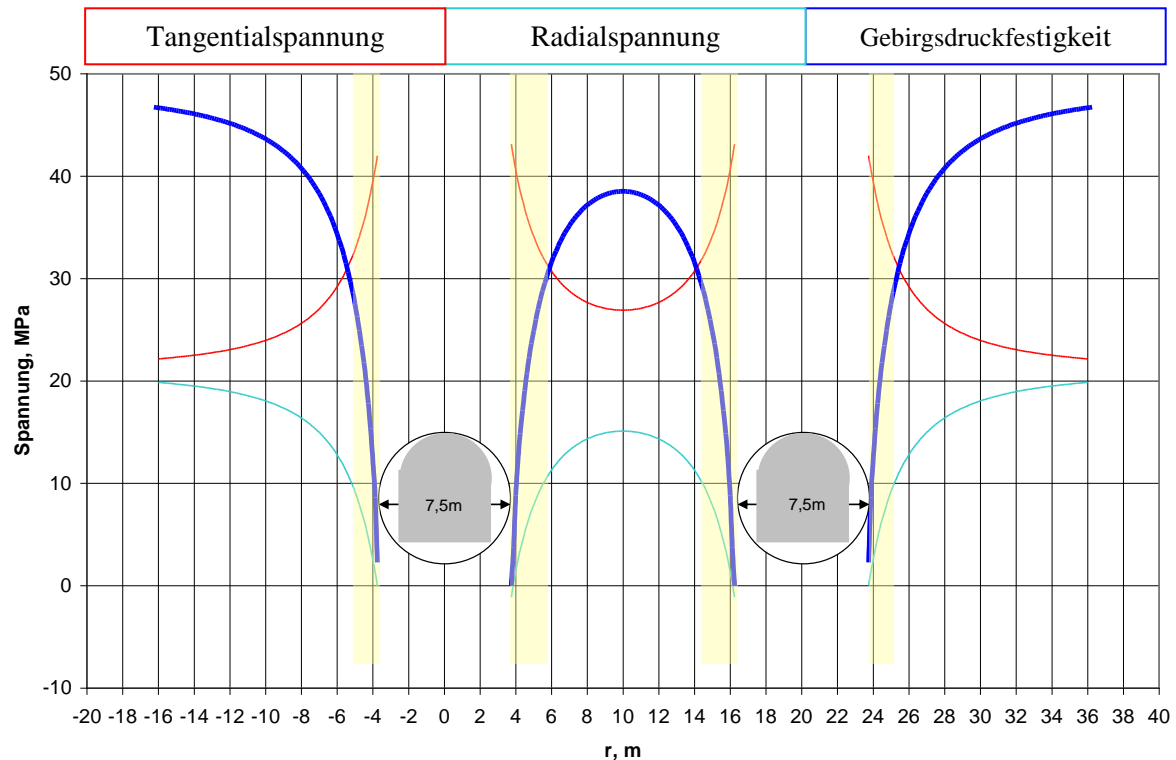


Bild 5.7: Radial- und Tangentialspannungen im Umfeld einer unausgebauten Strecke bei Ansatz eines ebenen Verzerrungszustandes im elastischen, homogenem, isotropen Gebirge ( $-K_0 = 1$ ,  $p_i = 0$  MPa,  $\sigma_v = 0,026 \text{ MN/m}^3 \times 800\text{m}$ ) mit Gegenüberstellung der für  $m = 1$ ,  $s = 0,004$  und  $\beta_{1u} = 36$  MPa angesetzten minimalspannungsabhängigen Gebirgsdruckfestigkeit

Die bei Anwendung der in Abschnitt 3 dokumentierten Gleichungen (3.18) und (3.23) für ein elastisch-plastisches Gebirge resultierenden Radial- und Tangentialspannungen für ein im Teufenniveau des Unterbeckens lokalisiertes Parallelstreckensystem zeigt Bild 5.9. Die Berechnung der in Bild 5.9 aufgetragenen Spannungen erfolgte

- unter konservativer Berücksichtigung der in Tab. 4.1 für Schieferton (sandstreifig) angegebenen Restfestigkeitsparameter  $c_R = 1,76$  MPa und  $\varphi_R = 37,77^\circ$  und
- unter Berücksichtigung der in Tab. 4.1 für Sandstein angegebenen Restfestigkeitsparameter  $c_R = 4,43$  MPa und  $\varphi_R = 42,15^\circ$ . Als Ergebnis der Berechnung bleibt festzuhalten, dass der rechnerisch resultierende Gebirgsbereich, indem eine Plastifizierung in Folge Überschreitung der Restfestigkeit ausgewiesen wird, auf eine Konturzone von 2,05m (Berechnung mit Restfestigkeitskennwerten für Schie-

ferton) bzw. 0,55m (Berechnung mit Restfestigkeitskennwerten für Sandstein) begrenzt ist.

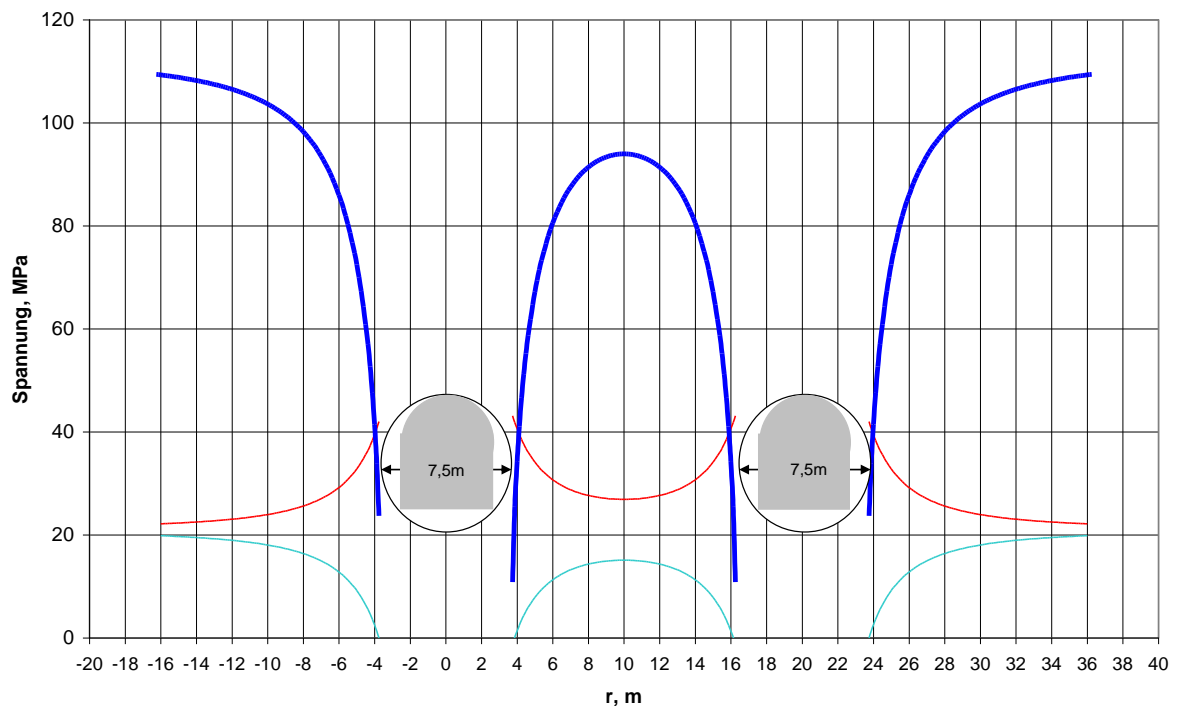


Bild 5.8: Radial- und Tangentialspannungen im Umfeld einer unausgebauten Strecke bei Ansatz eines ebenen Verzerrungszustandes im elastischen, homogenen, isotropen Gebirge ( $-K_0 = 1$ ,  $p_i = 0$  MPa,  $\sigma_v = 0,026 \text{ MN/m}^3 \times 800\text{m}$ ) mit Gegenüberstellung der für  $m = 5$ ,  $s = 0,1$  und  $b_{1u} = 75$  MPa angesetzten minimalspannungsabhängigen Gebirgsdruckfestigkeit

Eine zu Bild 5.9 analoge Darstellung bei Ansatz einer dem Teufenniveau im Bereich des Oberbeckens entsprechenden Primärspannung zeigt Bild 5.10. Danach berechnet sich der Konturbereich, in dem eine Plastifizierung ausgewiesen wird zu 0m bei Ansatz der Restfestigkeitsparameter für Sandstein bzw. zu 0,55m bei Ansatz der Restfestigkeitsparameter für Tonschiefer.

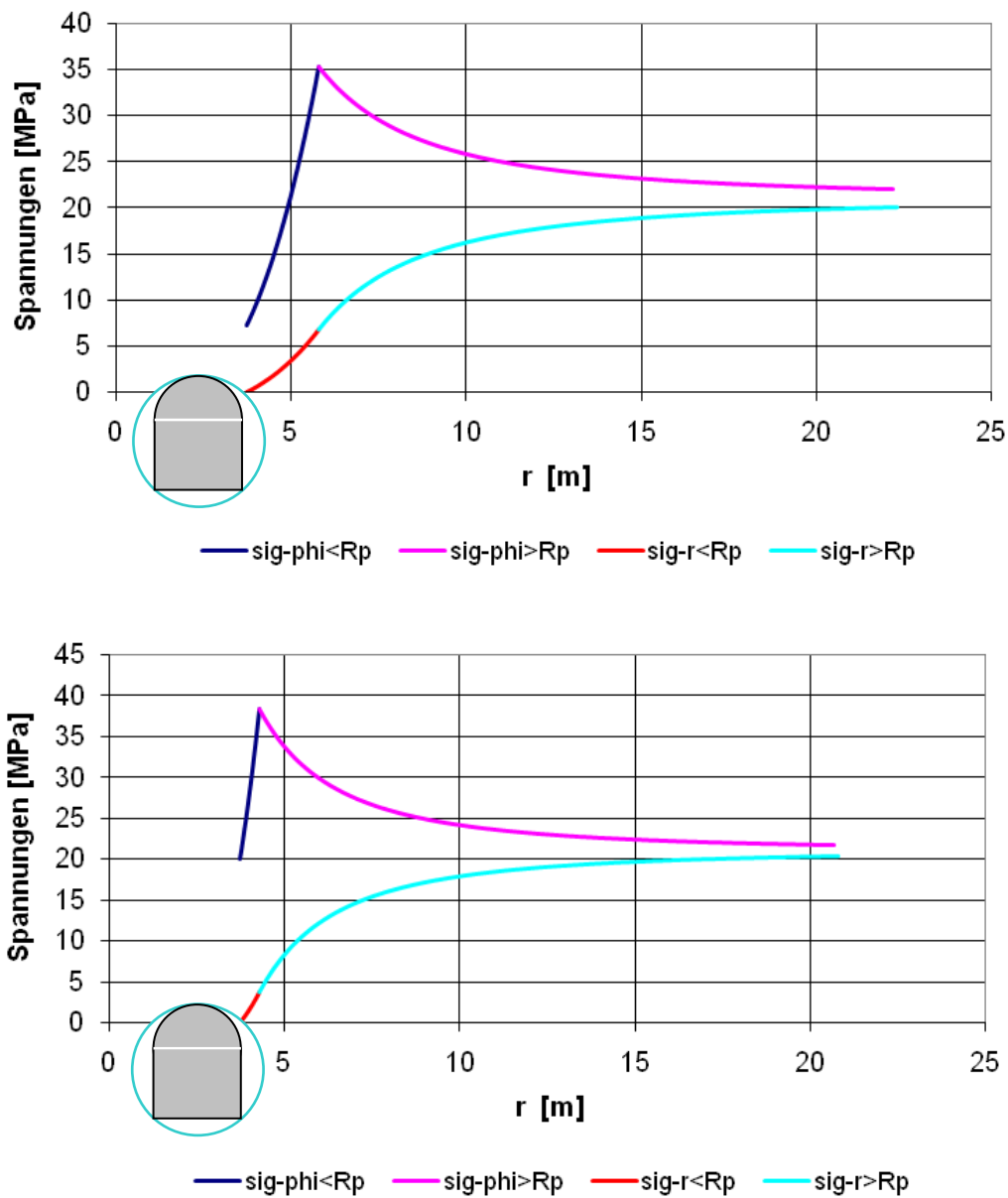


Bild 5.9: Radial- und Tangentialspannungen im Umfeld einer unausgebauten Strecke bei Ansatz eines ebenen Verzerrungszustandes im elastisch-plastischen, homogenem, isotropen Gebirge

(oben:  $\rightarrow K_0 = 1$ ,  $p_i = 0$  MPa,  $\sigma_v = 0.026 \text{ MN/m}^3 \times 800\text{m}$ ,  $c_R = 1.76$  MPa,  $\varphi_R = 37.77^\circ$ , unten:  $c_R = 4.43$  MPa,  $\varphi_R = 42.15^\circ$ )



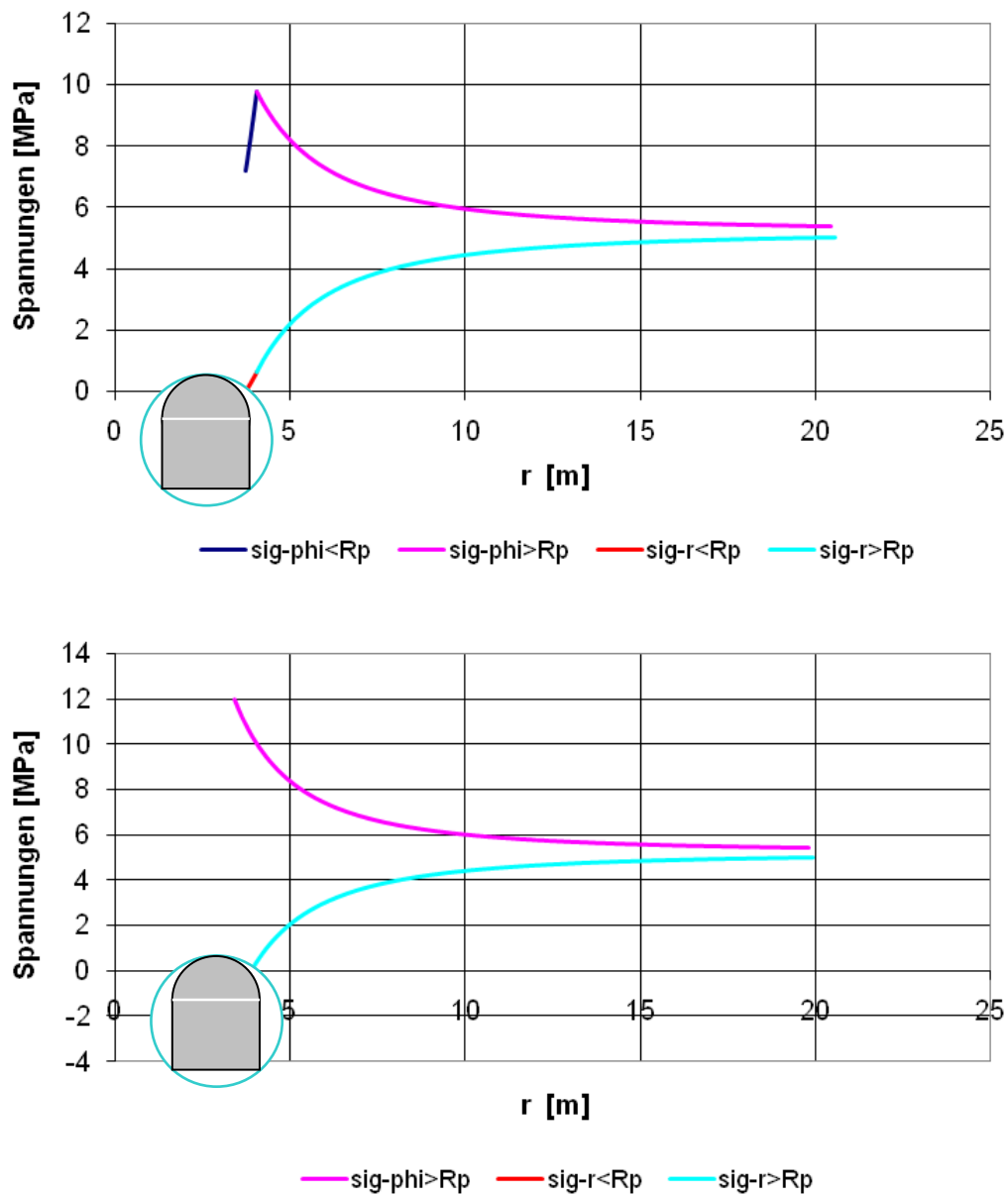


Bild 5.10: Radial- und Tangentialspannungen im Umfeld einer unausgebauten Strecke bei Ansatz eines ebenen Verzerrungszustandes im elastisch-plastischen, homogenem, isotropen Gebirge

(oben:  $\rightarrow K_0 = 1$ ,  $p_i = 0$  MPa,  $\sigma_v = 0,026 \text{ MN/m}^3 \times 800\text{m}$ ,  $c_R = 1,76$  MPa,  $\varphi_R = 37,77^\circ$ , unten:  $c_R = 4,43$  MPa,  $\varphi_R = 42,15^\circ$ )

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Grobeinschätzung des Gebirgstragverhaltens auf der Grundlage elastisch-plastischer Berechnungen somit eine vergleichsweise gute Überein-

stimmung mit den Einschätzungen zum Gebirgstragverhalten auf Grundlage elastischer Berechnungen.

Eine erste Grobeinschätzung des Gebirgstragverhaltens im Bereich des Druckstollens erfolgt auf Grundlage der in Abschnitt 3 dokumentierten Gleichungen (3.24) bis (3.25). Bezüglich der in die Gleichungen (3.24) bis (3.25) eingehenden Primärspannung bleibt zu berücksichtigen, dass diese mit der Teufe zunimmt und ihren maximalen Zahlenwert im tiefsten Punkt des Druckstollens erreicht. Als im Rahmen der Grobeinschätzung abdeckender Lastfall wird daher die größte Teufenlage im Niveau von 800m betrachtet. Weiterhin bleibt zu berücksichtigen, dass das Gebirge im Umfeld des Druckstollens während des Betriebs, d.h. nach erstmaliger Flutung des Druckstollens lediglich mit der aus der Differenz zwischen Wasserdruck (hydrostatisch und hydrodynamisch) und lithostatischem Gebirgsdruck resultierenden Beanspruchung belastet wird. Die während der Bauphase des Druckstollens aus der Differenz zwischen atmosphärischem Innendruck und lithostatischem Gebirgsdruck resultierende Gebirgsbeanspruchung ist daher als konservativ abdeckend einzuschätzen. Die nach der Theorie des dickwandigen Zylinders mit  $p_i = 0$  MPa,  $p_a = 0,026 \text{ MN/m}^3 \times 800 \text{ m} = 21 \text{ MPa}$  und  $r_i = 1,5 \text{ m}$  berechneten radialen und tangentialen Spannungen zeigt Bild 5.11. Ein Vergleich der in Bild 5.11 dokumentierten Spannungen im Umfeld des Druckstollens mit den in Bild 5.6 dokumentierten Spannungen zwischen der Kontur der Sammel- und Speicherstrecken und dem unverritzten Gebirge zeigt identische Zahlenwerte. In der Konsequenz kann bezüglich der Einschätzungen zum Tragverhalten auf die vorstehenden Ausführungen zum Streckentragverhalten verwiesen und auf eine wiederholende Darstellung verzichtet werden.

Als Fazit der Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Referenzstandort Bad Grund auf der Basis analytischer Berechnungen bleibt zusammenfassend festzuhalten, dass die Ergebnisse keine Hinweise geben, die einer möglichen Realisierung der in den Bildern 5.1 und 5.2 skizzierten Konfiguration widersprechen.

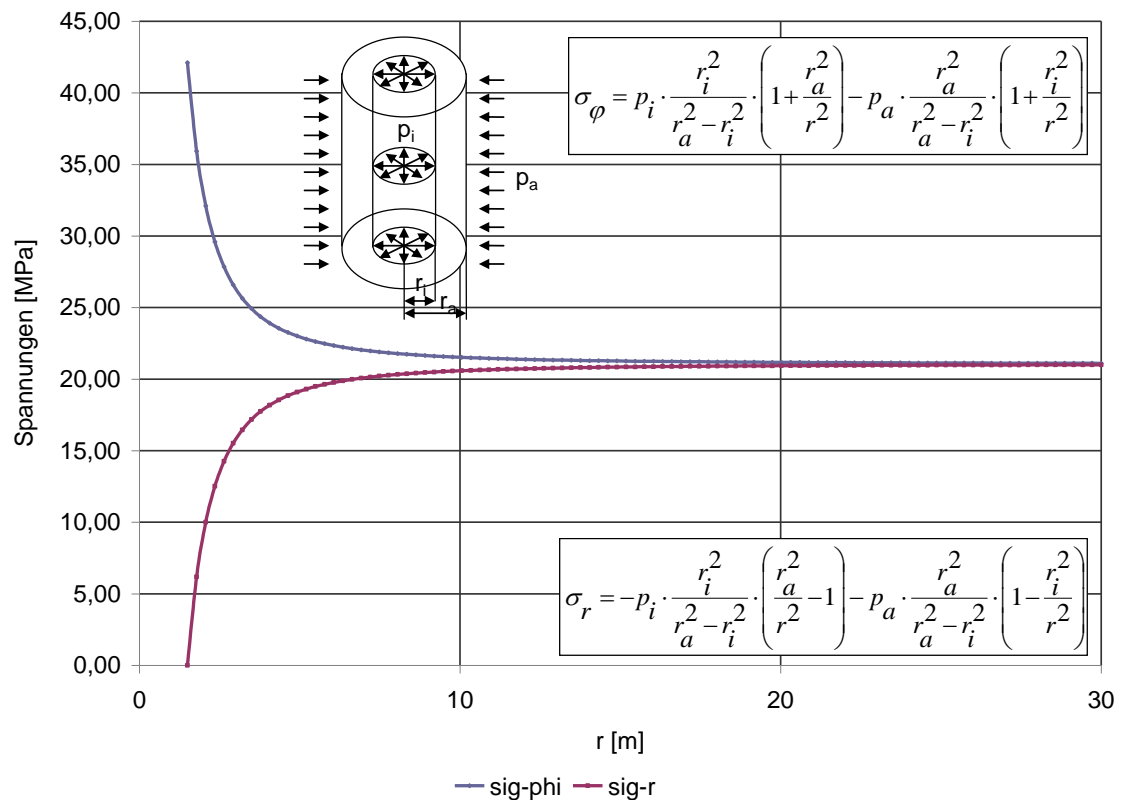


Bild 5.11: Radial- und Tangentialspannungen im Umfeld eines unausgebauten Druckstollens bei Ansatz eines ebenen Verzerrungszustandes im elastischen, homogenem, isotropen Gebirge ( $\rightarrow K_0 = 1$ ,  $p_i = 0$  MPa,  $\sigma_v = 0,026 \text{ MN/m}^3 \times 800\text{m}$ )

### 5.2.3 Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit nach der Methode der Pfeilerdimensionierung

Für eine quantitative Ermittlung der die Pfeiler zwischen den Speicherstrecken belastenden Vertikallast sind entsprechend Gleichung (3.8) der Abbauzuschnitt, d.h. das Verhältnis zwischen Systemfläche  $A_{SE}$  und Pfeilerfläche  $A_E$  sowie die Mächtigkeit  $M_D$  und Wichte  $\gamma$  der überlagernden Deckgebirgsschichten zu berücksichtigen. Hierzu zeigt Bild 5.12 einen schematischen Horizontal- und Vertikalschnitt durch das geplante Unter- bzw. Oberbecken. Unter- und Oberbecken sind gekennzeichnet durch einen flach- bis gering geneigten einsöhligen Zuschnitt.

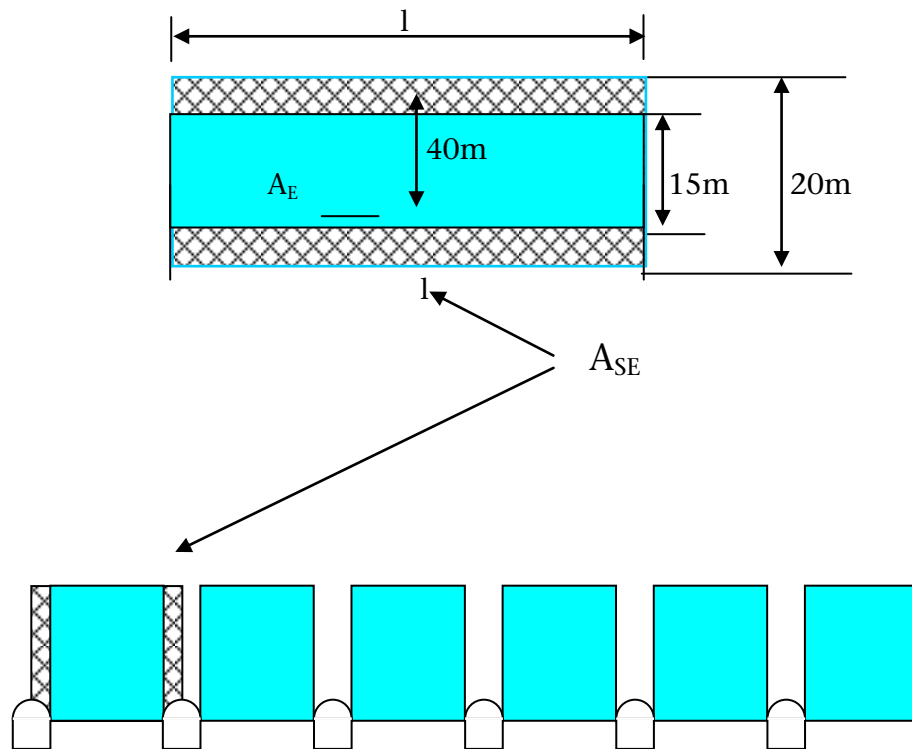


Bild 5.12: Schemaskizze geplante Konfiguration Ober- und Unterbecken

Die Auffahrung erfolgt planmäßig durch ca. 5m breite Parallelstrecken, die durch etwa 15 m breite Langpfeiler zur Stützung der Hangendschichten voneinander getrennt sind. Unter Berücksichtigung einer für Unregelmäßigkeiten in der Maßhaltung der tatsächlich aufgefahrenen Pfeilergeometrie und Auflockerungen im Konturbereich der Pfeilerstöße in Abzug gebrachten Konturzone von ca. 0,5m Mächtigkeit berechnet sich die tragende Pfeiler- bzw. Festenfläche für den in Bild 5.12 skizzierten Zuschnitt zu  $A_E = (15\text{m} - 1\text{m}) \times l$  und die den Pfeilern bzw. Festen zugeordnete Systemfläche zu  $A_{SE} = 20\text{m} \times l$ .

Einsetzen der vorstehend genannten Zahlenwerte für  $A_E$  und  $A_{SE}$  in Gleichung (3.8) liefert für die Pfeilerbelastung

(a) im Teufenniveau des Unterbeckens:

$$\sigma_E = 0.026 \text{ MN} / \text{m}^3 \cdot 800 \text{ m} \cdot \frac{20 \text{ m} \cdot l}{(15 \text{ m} - 1 \text{ m}) \cdot l} = 29,7 \text{ MPa} \quad (5.2)$$

(b) im Teufenniveau des Oberbeckens:

$$\sigma_E = 0.026 \text{ MN} / \text{m}^3 \cdot 200 \text{ m} \cdot \frac{20 \text{ m} \cdot l}{(15 \text{ m} - 1 \text{ m}) \cdot l} = 7,4 \text{ MPa} \quad (5.3)$$

Eine Gegenüberstellung dieser Beanspruchungen mit der einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit zeigt, dass die im unteren Streubreitenband eingeschätzte einaxiale Gesteinsdruckfestigkeit maximal zu  $\eta = 29,7 \text{ MPa} / 36 \text{ MPa} = 82,5\%$  ausgenutzt wird. In der Konsequenz kann geschlussfolgert werden, dass eine im Bereich des unteren Streubreitenbandes angesetzte Gesteinsdruckfestigkeit rechnerisch standfeste Verhältnisse auch dann ausweist, wenn auf einen Ausbau verzichtet wird. Wird dagegen in Analogie zu den Ausführungen in Abschnitt 5.1.3 der rechnerisch ermittelte Beanspruchungszustand einer mit  $\text{RMR} = 65$  ermittelten einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit gegenübergestellt, so resultieren rechnerisch sowohl im Teufenniveau des Oberbeckens als auch im Teufenniveau des Unterbeckens deutliche Überschreitungen der einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit. Erst wenn die mechanische Qualität des Gebirges mit  $\text{RMR} = 80$  und  $\beta_{1u} = 75 \text{ MPa}$  im Bereich des oberen Streubreitenbandes angesetzt wird, werden Ausnutzungsgrade der einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit berechnet, die in etwa dem Niveau der Ausnutzungsgrade der einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit entsprechen:

a) Ausnutzung der einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit im Teufenniveau des Unterbeckens:

$$\eta_{\text{Gebirge-}\sigma_3=0} = \frac{29,7}{\sqrt{0,1 \cdot 75^2}} = 125\%$$

b) Ausnutzung der einaxialen Gebirgsdruckfestigkeit im Teufenniveau des Oberbeckens:

$$\eta_{\text{Gebirge-}\sigma_3=0} = \frac{7,4}{\sqrt{0,1 \cdot 75^2}} = 31\%$$

Unter Verweis auf die Ausführungen in Abschnitt 5.1.3 ist in vorstehender Betrachtung noch unberücksichtigt, dass sich entsprechend der Darstellung in Bild 5.6 im Pfeilergestein zwischen zwei Parallelstrecken tatsächlich eine von Null verschiedene Radial- bzw. Minimalspannung berechnet, sodass ausgehend vom Streckenstoß hin zur Pfeilermitte eine kontinuierlich zunehmende triaxiale Einspannung des Gesteins- bzw. Gebirges resultiert. In der Konsequenz sind die vorstehenden Aussagen in ihrer Gültigkeit beschränkt

auf den unmittelbaren Stoßbereich der Speicher- und Sammelstrecken. Für eine rechnerische Einschätzung der Gebirgsdruckfestigkeit im Gebirgsbereich zwischen Streckenstoß und Pfeilermite ist entsprechend Gl. (4.2) die Größe der zwischen Streckenstoß und Pfeilermite zunehmenden Minimalspannung zu berücksichtigen. Eine diesbezügliche Berechnung für

- (a) eine im Bereich des unteren Streubreitenbandes angesetzte Gebirgsqualität mit  $m = 1$ ,  $s = 0,004$  und  $\beta_{1u} = 36 \text{ MPa}$  und
- (b) eine im Bereich des oberen Streubreitenbandes angesetzte Gebirgsqualität mit  $m = 5$ ,  $s = 0,1$  und  $\beta_{1u} = 75 \text{ MPa}$

zeigt Bild 5.13 für das mit  $z = 800\text{m}$  angesetzte Teufenniveau des Unterbeckens. Danach ist der Gebirgsbereich, indem rechnerisch eine Überschreitung der Gebirgsdruckfestigkeit ausgewiesen wird auf eine geringmächtige Konturzone begrenzt von

- (a) ca. 1,7m bei Ansatz einer im Bereich des unteren Streubreitenbandes angesetzten Gebirgsqualität und von
- (b) ca. 0,1m bei Ansatz einer im Bereich des oberen Streubreitenbandes angesetzten Gebirgsqualität.

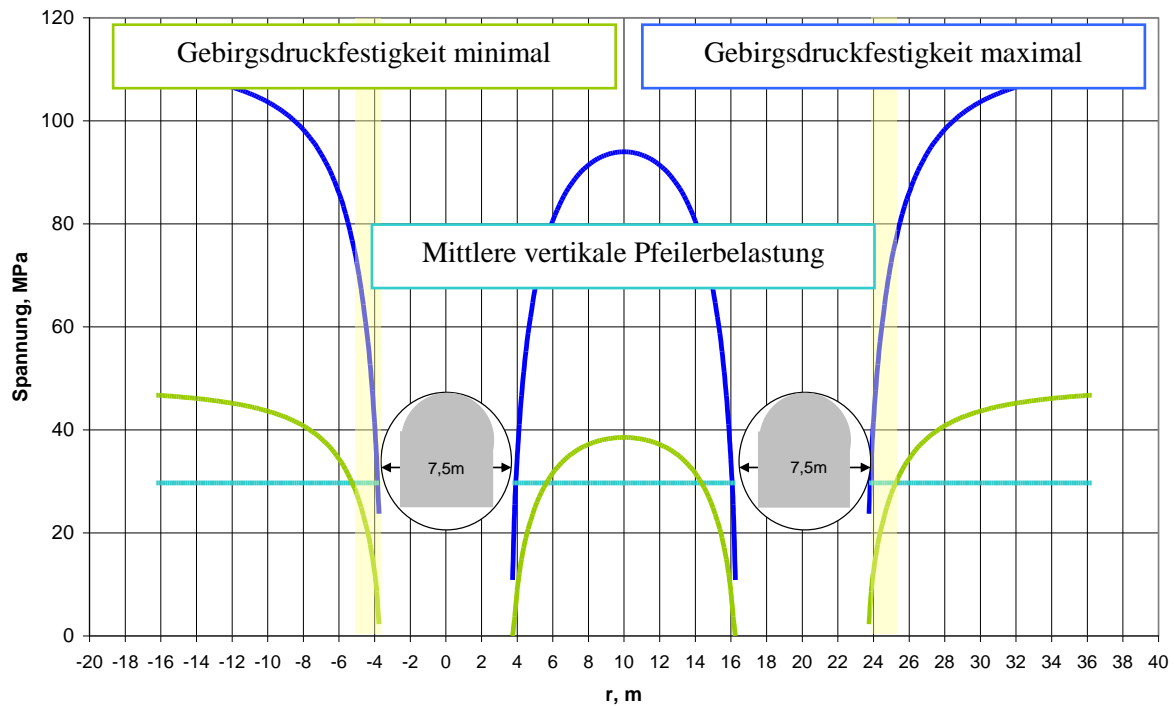


Bild 5.13: Mittlere vertikale Pfeilerspannung nach dem *tributary area concept* mit Gegenüberstellung der für  $m = 1$ ,  $s = 0,004$  und  $\beta_{1u} = 36$  MPa bzw.  $m = 5$ ,  $s = 0,1$  und  $\beta_{1u} = 75$  MPa angesetzten minimalspannungsabhängigen Gebirgsdruckfestigkeit

Als Fazit der Grobeinschätzung der geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Referenzstandort Bad Grund auf der Basis von Berechnungen nach der Methode der Pfeilerdimensionierung bleibt daher in Analogie zu den Ausführungen in den Abschnitten 5.2.1 und 5.2.2 zusammenfassend festzuhalten, dass die Ergebnisse keine Hinweise geben, die einer möglichen Realisierung der in den Bildern 5.1 und 5.2 skizzierten Konfiguration widersprechen.



#### **5.2.4 Zusammenfassende Bewertung der rechnerischen Grobeinschätzung zur geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Referenzstandort Bad Grund**

Ungeachtet der nicht bzw. nur unzureichend belegten Informationen zum standortbezogenen Gebirgsaufbau und zur mechanischen Qualität des anstehenden Gebirges wurde im Rahmen einer ersten rechnerischen Grobeinschätzung des Gebirgstragverhaltens aufgezeigt, dass für die gewählte geometrische Konfiguration von Oberbecken, Unterbecken und Druckstollen die grundsätzliche geomechanische Machbarkeit gegeben ist. Auf der Grundlage der in den Abschnitten 5.2.1 bis 5.2.3 dokumentierten rechnerischen Untersuchungen können keine Hinweise abgeleitet werden, die einer Realisierbarkeit des Projektes am Referenzstandort Bad Grund widersprechen. Vorstehende Aussage gilt im Grundsatz sowohl bei Ansatz einer im Bereich des oberen Streubreitenbandes angenommenen mechanischen Gebirgsqualität wie auch für eine im Bereich des unteren Streubreitenbandes angenommene Gebirgsqualität. Nicht zu beantworten ist auf der Grundlage der zur Zeit vorliegenden Befunde zum mechanischen Verhalten des anstehenden Gebirges die Frage nach Art und Umfang der ggf. erforderlichen Ausbaustützmittel. Im Rahmen der rechnerischen Grobeinschätzung wurde hierzu gezeigt, dass bei Ansatz eines mäßig geklüfteten Gebirges ohne wasserempfindliche Kluftfüllungen mit einer im oberen Bereich des Streubreitenbandes eingeschätzten Gebirgsfestigkeit auf einen planmäßigen Regelausbau zugunsten einer evtl. nur lokal erforderlichen Sicherung verzichtet werden kann. Werden dagegen Gebrächzonen mit intensiver Klüftung und/oder Bereiche mit wasserempfindlichen Kluftfüllungen (→Ton- / Lettenbelege) angefahren, so zeigen die überschlägigen rechnerischen Einschätzungen, dass insbesondere im Teufenniveau des Unterbeckens eine Sicherung der Speicher- und Sammelstrecken erforderlich sein wird. Die grundsätzliche geomechanische Machbarkeit des Projektes ist hiervon unberührt. Einzig die Frage nach dem dann erforderlichen Ausbaufwand kann auf der Grundlage der zur Zeit vorliegenden Informationen nicht abgeschätzt werden.

#### **5.3 Rechnerische Grobeinschätzungen zur geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser**

Die Zusammenstellung der für den Referenzstandort Pöhla-Tellerhäuser vorliegenden Informationen zur Geologie, Geomechanik und Bergbauhistorie hat gezeigt, dass abgese-

hen von wenigen verbalargumentativen Beschreibungen keine im Sinne der klassischen Gebirgsmechanik belastbare Untersuchungsbefunde und Kennwerte zum Trag- und Verformungsverhalten des anstehenden Gesteins und Gebirges vorliegen. Vorstehende Aussage gilt sowohl bzgl. laborativer Untersuchungen zu den mechanischen und hydraulischen Charakteristika wie auch bzgl. messtechnischer Befunde zum insitu Tragverhalten (Felduntersuchungen, Feldmessungen). Die geomechanisch verwertbaren Informationen sind im Wesentlichen beschränkt auf eine Dokumentation von Lage, Streichen und Einfallen der im Projektgebiet anstehenden Hauptstörungen.

Eine vergleichende Gegenüberstellung der Einschätzungen zum Tragverhalten des Gebirges für den Referenzstandort Bad Grund mit den Einschätzungen zum Tragverhalten des Gebirges am Referenzstandort Pöhla – Tellerhäuser zeigt, dass bei Berücksichtigung der gegenwärtigen Planungstiefe zumindest auf der Grundlage der vorliegenden geomechanischen Daten keine Indikatoren vorliegen, die den Ansatz signifikanter Unterschiede im grundsätzlichen Tragverhalten des Gebirges rechtfertigen. Die für den Referenzstandort Bad Grund eingeschätzten Gebirgseigenschaften sind vorbehaltlich der Notwendigkeit vertiefender geomechanischer und ingenieurgeologischer Untersuchungen damit auch für den Referenzstand Pöhla – Tellerhäuser anzusetzen. Eine grundsätzlich gleich lautende Aussage gilt angesichts ähnlicher Teufenlagen für die geplante Auffahrung von Ober- und Unterbecken an den Referenzstandorten Bad Grund und Tellerhäuser auch für die zu erwartenden Gebirgsdrücke. In der Konsequenz kann auf eine wiederholende Darstellung der rechnerischen Einschätzungen auf der Grundlage analytischer und empirischer Verfahren zur grundsätzlichen geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes für den Referenzstandort Pöhla – Tellerhäuser unter Verweis auf die Ausführungen in Abschnitt 5.2 verzichtet werden.

## **6. Numerische Berechnungen zur geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes an den Referenzstandorten Bad Grund und Pöhla - Tellerhäuser**

### **6.1 Theoretisches Berechnungsmodell**

Ziel der nachfolgenden numerischen Berechnungen ist es, die in Abschnitt 5 erarbeiteten Einschätzungen zur grundsätzlichen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes einer vertieften geomechanischen Analyse hinsichtlich Tragverhalten und Standsi-

cherheit zuzuführen. Dazu ist die im Rahmen der analytischen und empirischen Voreinschätzungen zum Tragverhalten des Gebirges erarbeitete Hohlraumkonfiguration durch ein theoretisches Berechnungsmodell abzubilden, welches sowohl die geometrischen Charakteristika des Pumpspeicherwerkes (→ Länge, Breite und Höhe der einzelnen Grubenholräume sowie ihre räumliche Lage zueinander und in Relation zur Tagesoberfläche) wie auch die physikalischen Eigenschaften des die Hohlräume umgebenden Gebirges (→ spezifisches Gewicht, Primärspannungszustand, Spannungs-Verformungsverhalten, Festigkeit, Durchlässigkeit, etc.) hinreichend realitätsnah berücksichtigt. Das im Ergebnis der geometrischen und physikalischen Idealisierung resultierende Berechnungsmodell ist schließlich unter Berücksichtigung der auf das Tragwerk zeitabhängig einwirkenden Belastungen (→ Bauzustände: Auffahrung der Grubenbaue, Flutung der Grubenbaue, Speicherbetrieb) hinsichtlich seines Tragverhaltens zu analysieren, indem die in Raum und Zeit berechneten Zustandsgrößen (→ Spannungen, Verformungen, Verzerrungen) vor dem Hintergrund der vom Baumaterial „Gebirge“ schadungsfrei ertragbaren Beanspruchungen bewertet werden.

Für die numerischen Berechnungen wurde entsprechend der Darstellung in Bild 6.1 ein dreidimensionales Berechnungsmodell generiert, welches unter weitgehender Ausnutzung geometrischer Symmetriebedingungen jeweils eine Hälfte der zweiflügelig an die Sammelstrecke angebundenen Speicherstrecken mit Pfeiler erfasst (Modellbreite  $b = 10\text{m}$ ). Die Speicherstrecken werden durch das Berechnungsmodell lediglich bis zu einer Länge von  $l = 101\text{m}$  berücksichtigt. Im Ergebnis dieser Vorgehensweise können die räumlichen Tragverhältnisse im Übergangsbereich zwischen dem der Sammelstrecke abgewandten Ende der Speicherstrecken und dem unverritzten Gebirge mit dem Berechnungsmodell nicht analysiert werden. Vielmehr wird durch die gewählte Generierung rechnerisch unterstellt, dass die Speicherstrecken eine unendliche Länge besitzen. Angesichts der aus Gründen der Modellsymmetrie mit zunehmender Entfernung zur Sammelstrecke zu erwartenden Gleichförmigkeit der berechneten Zustandsgrößen ist die vorstehend erläuterte Vorgehensweise geeignet, den erforderlichen Berechnungsaufwand so weit wie möglich zu reduzieren, ohne durch die gewählte Idealisierung wesentliche Trageigenschaften des Systems zu vernachlässigen. Vorstehende Einschätzung gilt insbesondere vor dem Hintergrund der im Rahmen des vorliegenden Projektes noch geringen Planungstiefe mit entsprechend wenig bzw. nicht belegten Vorgaben für das Tragverhalten des Gebirges, auf deren Grundlage homogene Gebirgseigenschaften für den Berech-

nungsausschnitt angesetzt werden (→Charakterisierung des im Berechnungsmodell berücksichtigten Gebirgsausschnittes durch nur einen Homogenbereich). Die grundsätzliche Notwendigkeit einer gebirgsmechanischen Analyse der Tragverhältnisse unter Berücksichtigung der lastabtragenden Wirkung des unverritzten Gebirges im Übergangsbereich „Speicherstrecke-Unverritztes“ bleibt hiervon unberührt bzw. späteren Untersuchungen vorbehalten.

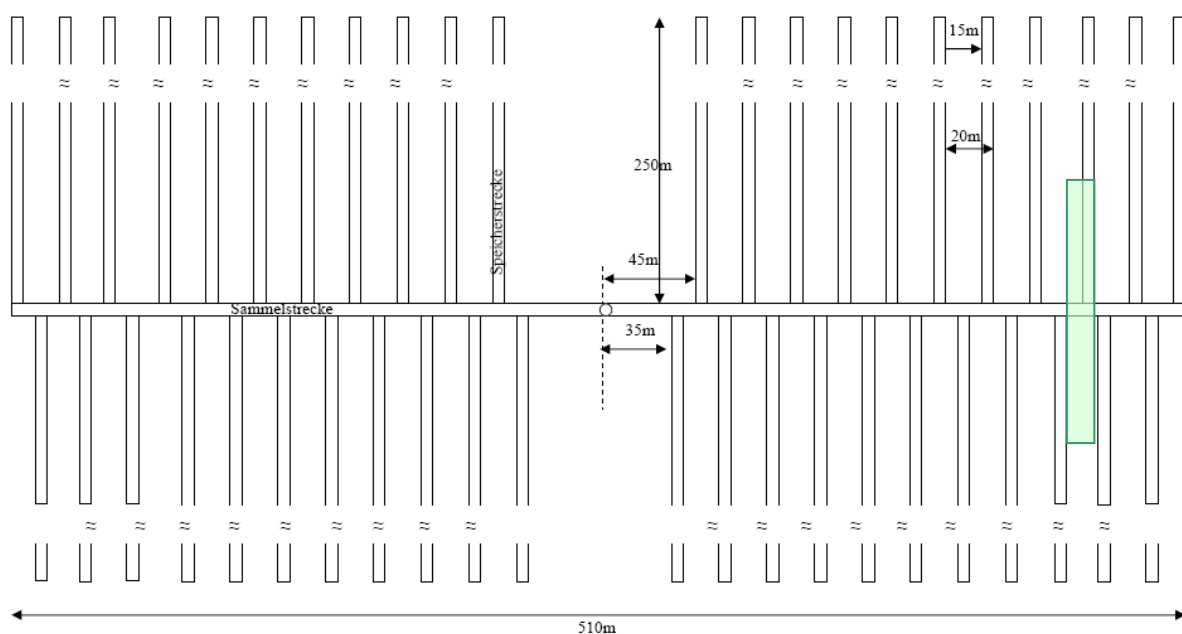


Bild 6.1: Konfiguration untertägiges Pumpspeicherbecken mit Modellabmessungen für das Berechnungsmodell PSWUT-3D-FDM (Horizontalschnitt)

In der Vertikalen erfasst das Berechnungsmodell entsprechend Bild 6.2 einen Gebirgsausschnitt von  $h = 315\text{m}$ . Deutlich zu erkennen ist aus Bild 6.2, dass die zweiflügelig an die Sammelstrecke angeschlossenen Speicherstrecken nicht horizontal, sondern einfallend vorgegeben sind um zu gewährleisten, dass während des Speicherbetriebs der Querschnitt der Sammelstrecke immer zu 100% wassergefüllt ist.

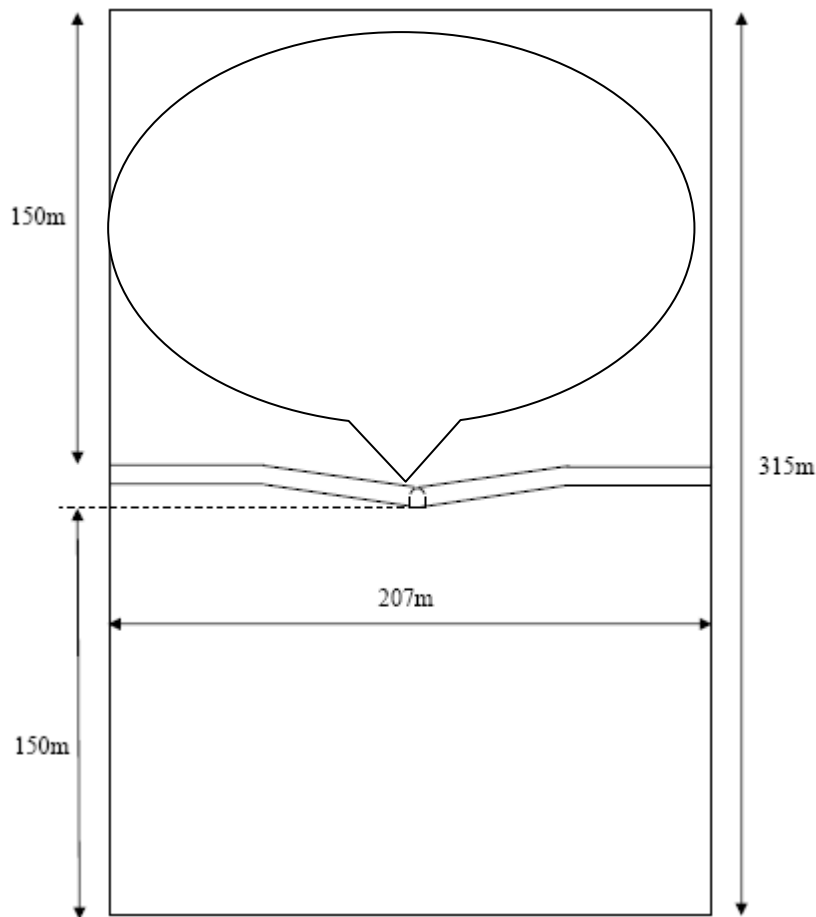


Bild 6.2: Konfiguration untertägiges Pumpspeicherbecken mit Modellabmessungen für das Berechnungsmodell PSWUT-3D-FDM (Vertikalschnitt)

Eine graphische Darstellung des mit 194000 Zonen und 207586 Knoten diskretisierten Berechnungsmodells zeigen die Bilder 6.3 und 6.4.

Die Lagerung der Modellränder erfolgte der üblichen Vorgehensweise entsprechend für die vertikalen Berandungen des Berechnungsmodells in den horizontalen Richtungen jeweils unverschieblich und in vertikaler Richtung verschieblich. Die untere Berandung des Berechnungsmodells wird in vertikaler Richtung unverschieblich und in horizontaler Richtung verschieblich gelagert. Der obere Rand des Berechnungsmodells ist in vertikaler und horizontaler Richtung frei verschieblich und mit einer dem Eigengewicht des hangenden Gebirges entsprechenden Last von  $\gamma \times H = 0.025 \text{ MN/m}^3 \times H$  beaufschlagt.

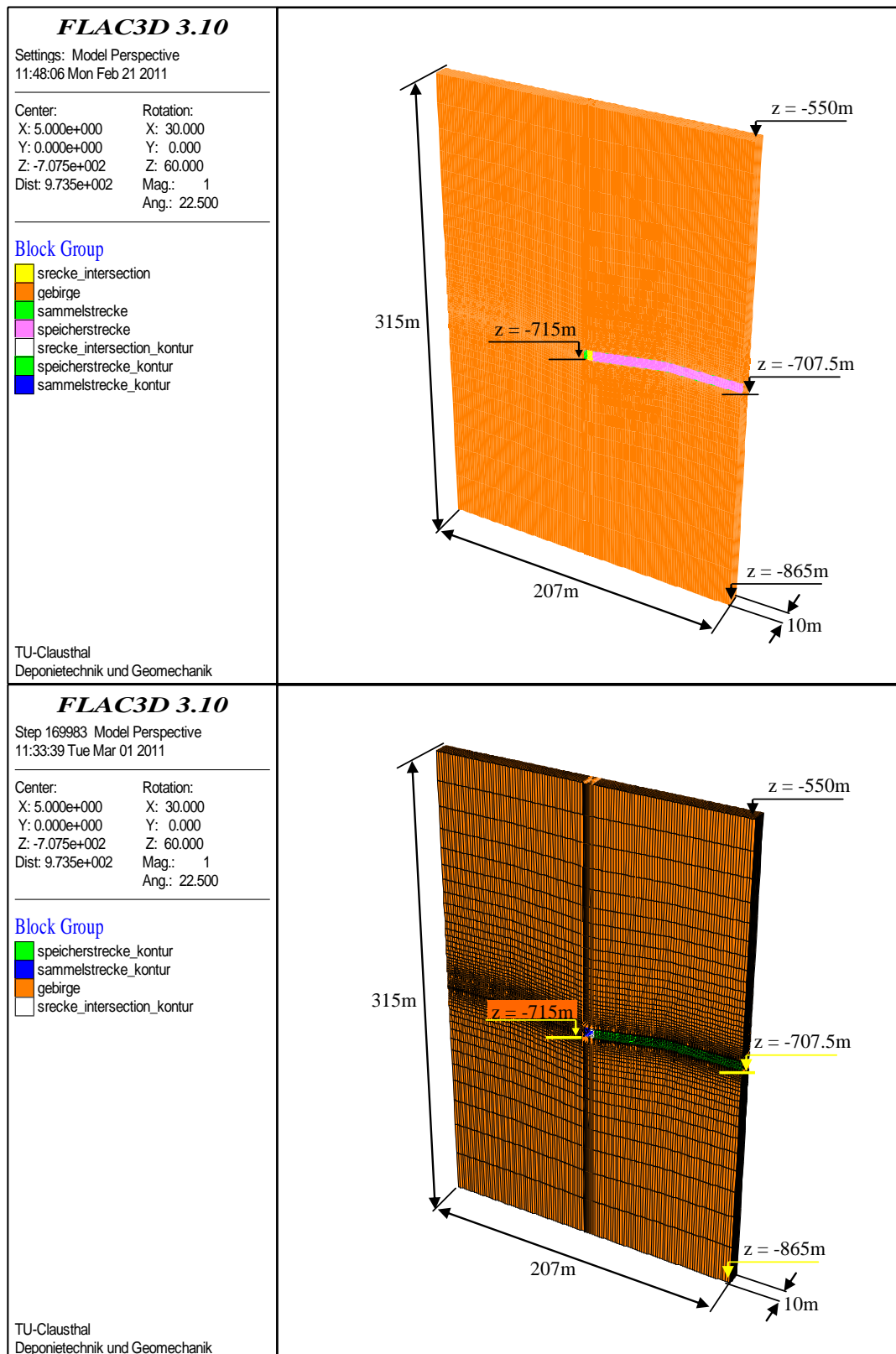


Bild 6.3: Diskretisiertes Berechnungsmodell PSWUT-3D-FDM - Gesamtmodell

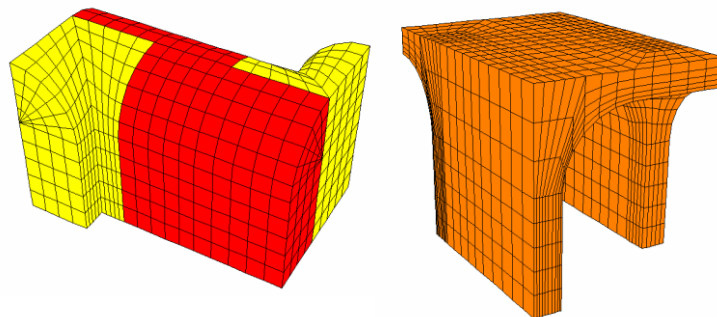
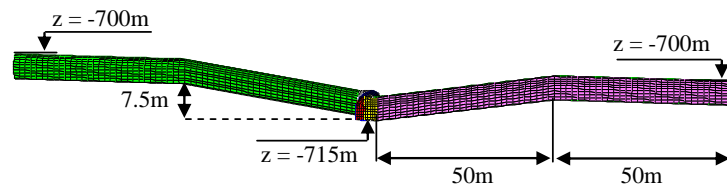
### FLAC3D 3.10

Settings: Model Perspective  
12:01:56 Mon Feb 21 2011

Center:	Rotation:
X: 5.000e+000	X: 10.000
Y: -1.776e-015	Y: 0.000
Z: -7.075e+002	Z: 80.000
Dist: 1.288e+003	Mag.: 2.44
	Ang.: 22.500

#### Block Group

■ srecke_intersection
■ sammelstrecke
■ speicherstrecke
■ srecke_intersection_kontur
■ speicherstrecke_kontur
■ sammelstrecke_kontur



TU-Clausthal  
Deponietechnik und Geomechanik

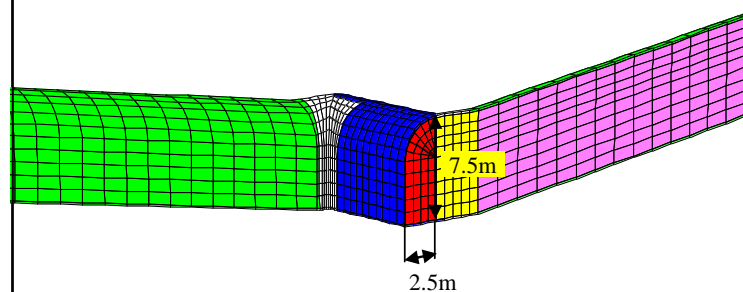
### FLAC3D 3.10

Settings: Model Perspective  
12:04:25 Mon Feb 21 2011

Center:	Rotation:
X: 5.000e+000	X: 10.000
Y: -1.776e-015	Y: 0.000
Z: -7.075e+002	Z: 130.000
Dist: 2.880e+002	Mag.: 2.44
	Ang.: 22.500

#### Block Group

■ srecke_intersection
■ sammelstrecke
■ speicherstrecke
■ srecke_intersection_kontur
■ speicherstrecke_kontur
■ sammelstrecke_kontur



TU-Clausthal  
Deponietechnik und Geomechanik

Bild 6.4: Diskretisiertes Berechnungsmodell PSWUT-3D-FDM -  
Ausschnittsvergrößerungen



Die Teufenlage des Berechnungsmodells ist variabel, sodass sowohl die im Niveau des Oberbeckens wie auch die im Niveau des Unterbeckens einwirkenden Gebirgsdrücke berücksichtigt werden können. Für den Referenzlastfall wurde entsprechend der Darstellung in Bild 6.4 eine Teufenlage von  $z = -700\text{m}$  für die Firste der Speicherstrecken angesetzt. Sie ist begründet durch die vom Projektpartner „Geotechnik und Markscheidewesen“ erarbeiteten 3D-Modellierungen der untertägigen Situation im Bereich der Referenzstandorte Bad Grund und Pöhla - Tellerhäuser. Entsprechend den Darstellungen in Bild 6.5 ist für die Auffahrung des Unterbeckens am Standort Bad Grund ein von Vererzungen und Störungen freier Gebirgsbereich nordwestlich des Wiemannsbuchtschachtes ausgewählt worden. Die planmäßige Teufenlage der Speicherstrecken des Unterbeckens ist entsprechend Bild 6.5 im Niveau der 19. Sohle bei ca.  $-300\text{mNN}$  lokalisiert. Für das Niveau der Tagesoberfläche oberhalb des Unterbeckens resultieren entsprechend der Profillinien in Bild 6.5 absolute Höhen von etwa  $+400\text{mNN}$  bis  $+500\text{mNN}$ , sodass eine Überdeckung von  $\Delta z \approx 700\text{m} - 800\text{m}$  resultiert.

Die untertägige Situation am Referenzstandort Pöhla – Tellerhäuser ist entsprechend der Darstellung in Bild 6.6 charakterisiert durch die planmäßige Auffahrung von Ober- und Unterbecken nordöstlich des Stollens Pöhla. Analog zur Vorgehensweise am Referenzstandort Bad Grund erfolgte die Auswahl des für die Auffahrung von Ober- und Unterbecken potenziell geeigneten Gebirgsbereiches unter der Zielstellung, im Teufenniveau der Speicherbecken weder Erzgänge noch geologische Störungen anzufahren. Die planmäßige Teufenlage der Grubenbaue des Unterbeckens am Referenzstandort Pöhla – Tellerhäuser ist im Niveau der  $+120\text{m}$ -Sohle lokalisiert, die absolute Höhe der Tagesoberfläche oberhalb des Unterbeckens beträgt etwa  $+700\text{mNN}$ . Damit ist in erster Näherung der Ansatz einer Mächtigkeit von  $\Delta z \approx 700\text{m}$  auch für das überlagernde Deckgebirge am Standort Pöhla – Tellerhäuser hinreichend repräsentativ.

Ungeachtet der für den Referenzlastfall gewählten Teufenlage von  $z = -700\text{m}$  wird der Einfluss der Mächtigkeit des überlagernden Deckgebirges auf das Tragverhalten der Speicher- und Sammelstrecken durch Rechenläufe mit variierten Teufen von  $z = -200\text{m}$ ,  $z = -300\text{m}$ ,  $z = -600\text{m}$  und  $z = -800\text{m}$  analysiert, sodass die mögliche Teufenlage von Ober- und Unterbecken an den Standorten Bad Grund und Pöhla – Tellerhäuser abdeckend berücksichtigt wird.

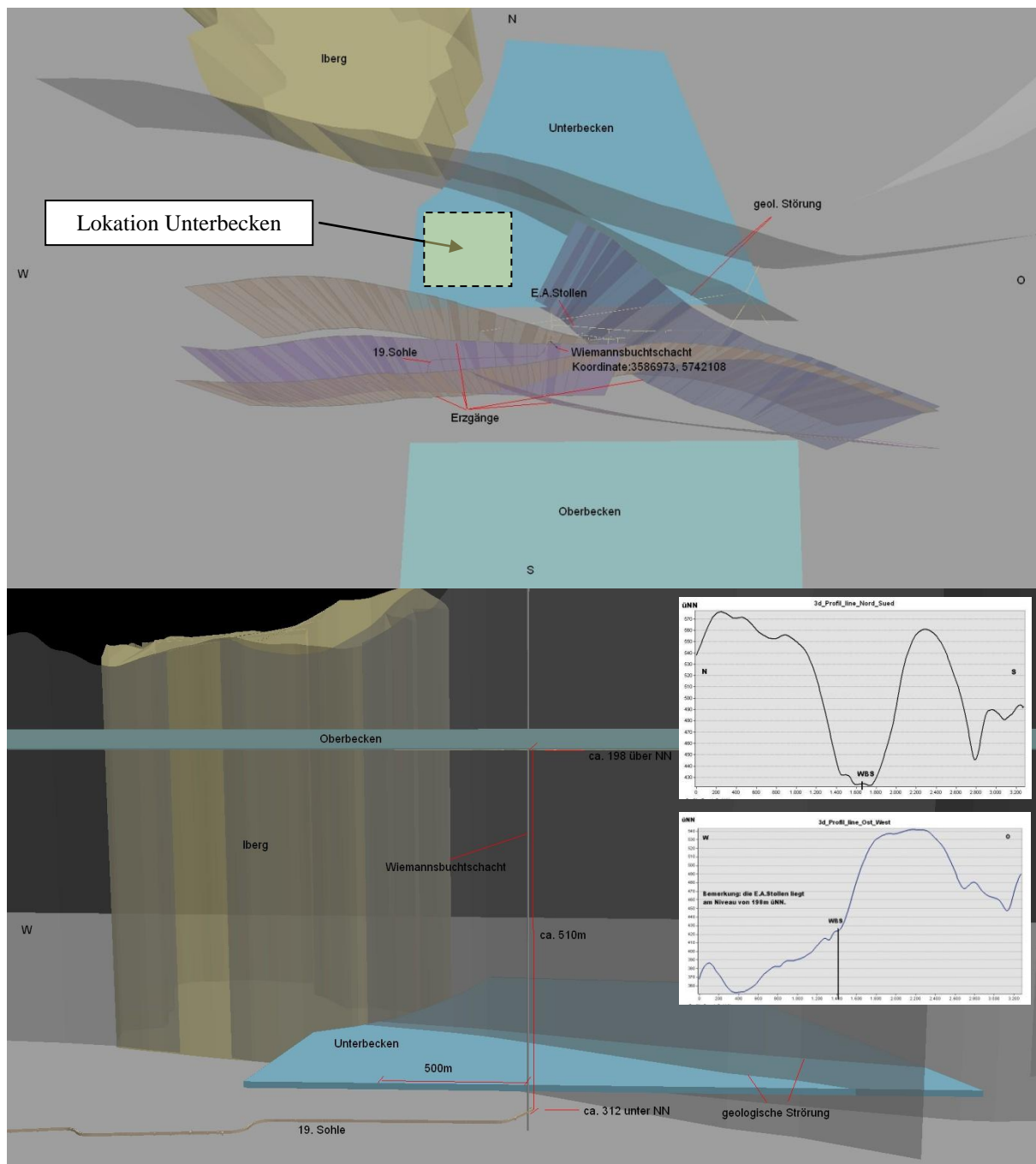


Bild 6.5 3D-Modellierung der untertägigen Situation am Referenzstandort Bad Grund mit potenzieller Lage von Ober- und Unterbecken /15/

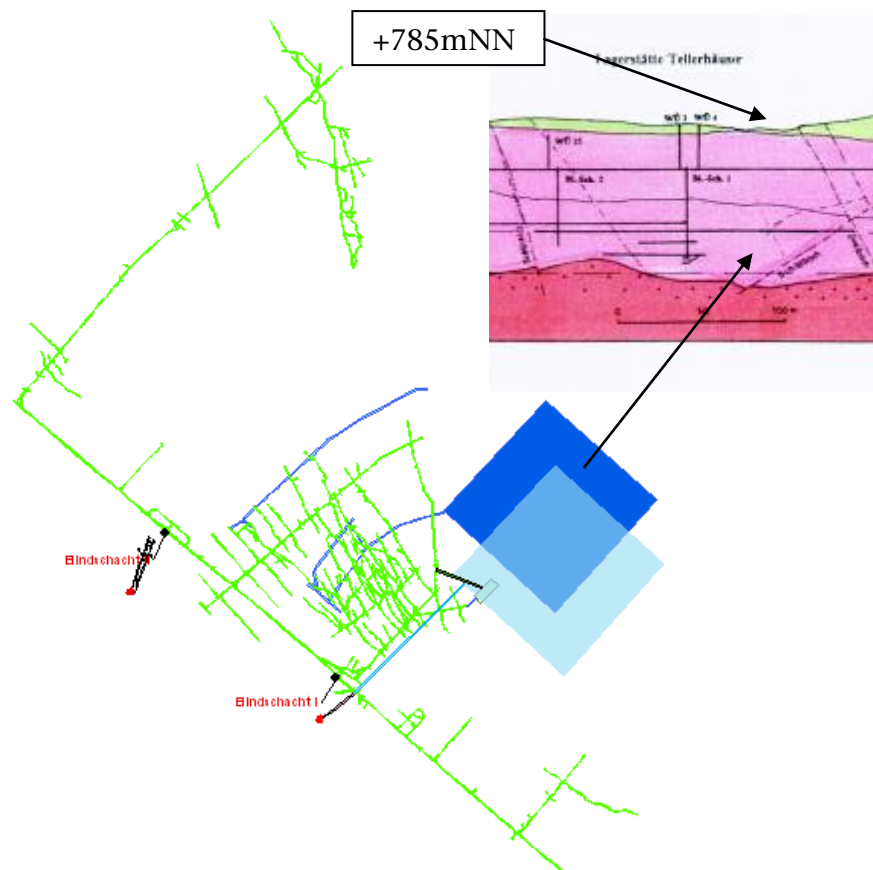


Bild 6.6 3D-Modellierung der untertägigen Situation am Referenzstandort Pöhla - Tellerhäuser mit potenzieller Lage von Ober- und Unterbecken /15/

Der nachweisrelevante Gebirgsbereich wird vorbehaltlich der Notwendigkeit präzisierender Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Grobplanung als homogenes und isotropes Kontinuum angenommen. Das verformungsrelevante Materialverhalten des Gebirges wird wie folgt im Berechnungsmodell beschrieben:

- (1) Berechnung des primären Spannungszustandes mit einem spezifischen Gewicht von  $\gamma = 0.025 \text{ MN/m}^3$  und einem Seitendruckbeiwert von  $K_0 = 1.0$ .
- (2.1) Berechnung des elastischen Sekundärspannungszustandes nach Auffahrung der Grubenbaue  $\rightarrow$  linear-elastisches Stoffmodell nach *Hooke* für variierte Gebirgsverformungsmoduli  $E_v = 5 \text{ GPa}$ ,  $E_v = 10 \text{ GPa}$  und  $E_v = 20 \text{ GPa}$  und variierte Teufen ( $z = 200\text{m}$ ,  $z = 300\text{m}$ ,  $z = 600\text{m}$ ,  $z = 700\text{m}$ ,  $z = 800\text{m}$ ).

(2.2) Berechnung des plastischen Sekundärspannungszustandes nach Auffahrung der Grubenbaue → plastisches Stoffmodell nach *Mohr-Coulomb* für variierte Plastifizierungsbedingungen wie folgt:

$$c_B = 7,5 \text{ MPa} / \varphi_B = 38,5^\circ \quad \text{—Gesteinsbruchfestigkeit}$$

$$c_R = 2,6 \text{ MPa} / \varphi_R = 34,8^\circ \quad \text{—Gesteinsrestfestigkeit}$$

$$c_G = 0,8 \text{ MPa} / \varphi_G = 28,0^\circ \quad \text{—Gebirgsfestigkeit}$$

Entsprechend der Darstellung in Bild 6.7 kann aus den geometrischen Beziehungen im Mohrschen Diagramm als Gleichung für die Abhängigkeit zwischen der maximalen Hauptspannung  $\sigma_1$  (→ Bruchfestigkeit) und der minimalen Hauptspannung  $\sigma_3$  abgeleitet werden:

$$\sigma_1 = 2c \cdot \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} + \sigma_3 \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (6.1)$$

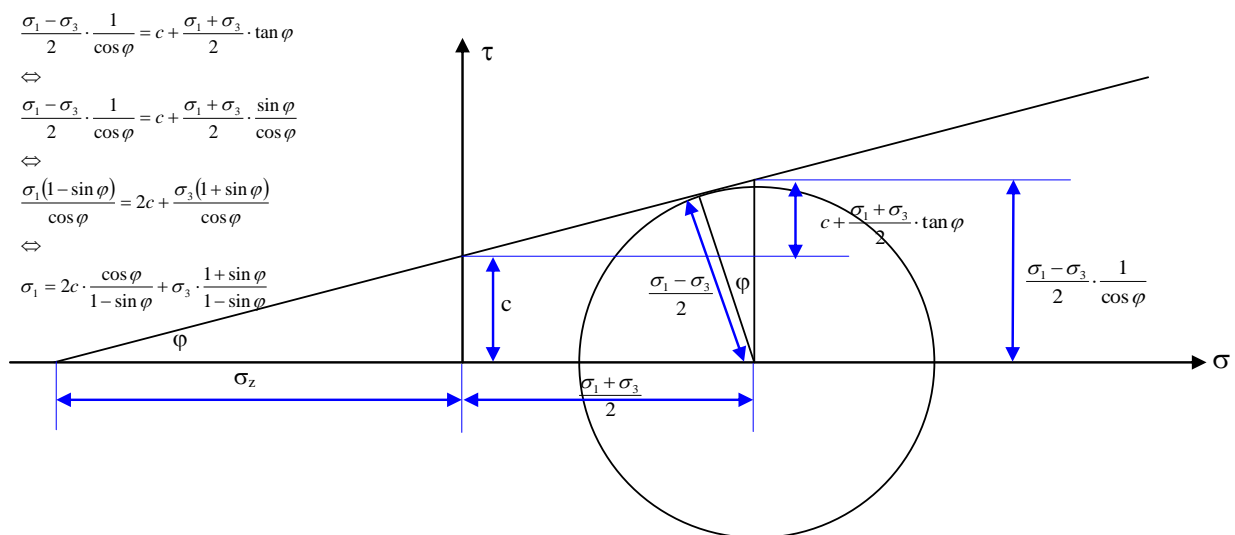


Bild 6.7: Theoretische Beziehungen zwischen Zugfestigkeit und Scherparametern im *Mohrschen Diagramm*

Eine graphische Darstellung der mit Gl. (6.1) gegebenen Abhängigkeit zeigt Bild 6.8 für die vorstehend unter (2.2) zusammengestellten Plastifizierungsbedingungen.

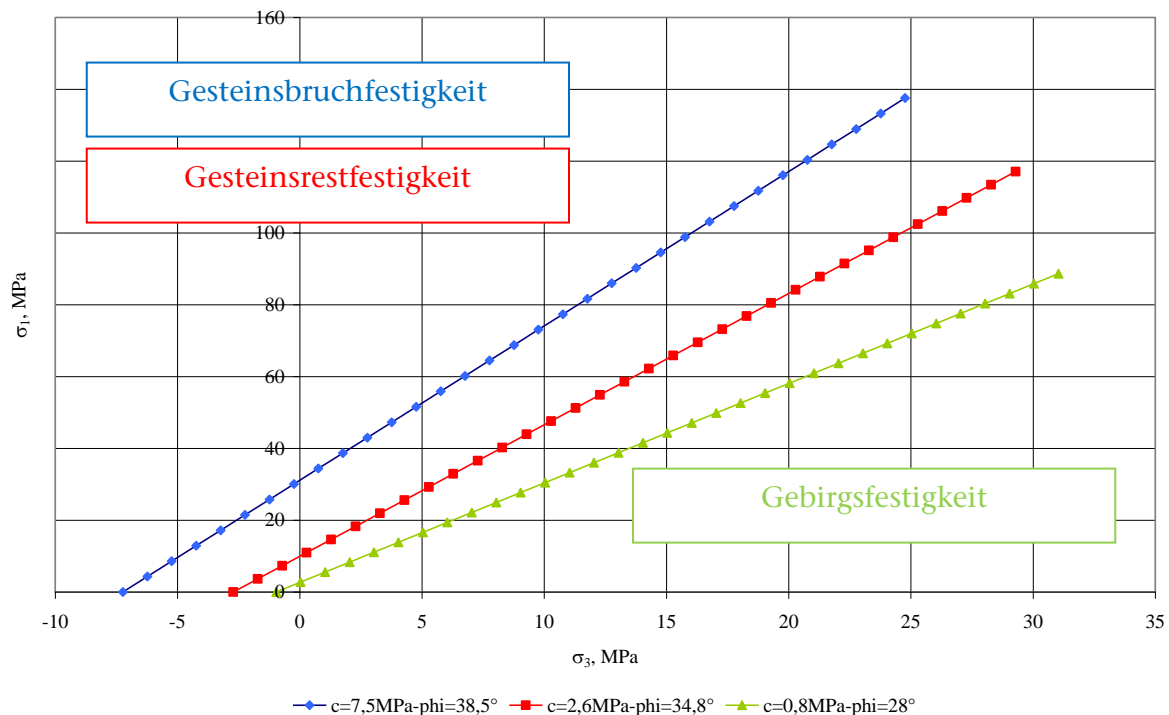


Bild 6.8: Plastifizierungsbedingungen in der Hauptspannungsebene

Gemäß der Darstellung in Bild 6.8 berechnet sich die Zugfestigkeit des Gesteins bzw. Gebirges für  $\sigma_1 \equiv 0 \text{ MPa}$ . Einsetzen von  $\sigma_1 = 0$  in Gl. (6.1) liefert:

$$-\sigma_3 = \sigma_z = \frac{2c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (6.2)$$

Für die unter (2.2) zusammengestellten Plastifizierungsbedingungen folgt mit Gl. (6.2) für die rechnerische Zugfestigkeit:

$$c_B = 7,5 \text{ MPa} / \varphi_B = 38,5^\circ \quad \rightarrow \sigma_z = 7,2 \text{ MPa (Gesteinsbruchfestigkeit)}$$

$$c_R = 2,6 \text{ MPa} / \varphi_R = 34,8^\circ \quad \rightarrow \sigma_z = 2,7 \text{ MPa (Gesteinsrestfestigkeit)}$$

$$c_G = 0,8 \text{ MPa} / \varphi_G = 28,0^\circ \quad \rightarrow \sigma_z = 0,96 \text{ MPa (Gebirgsfestigkeit)}$$

Da weder für den Referenzstand Bad Grund noch für den Referenzstandort Pöhla – Tellerhäuser Laboruntersuchungen zum festigkeitsmechanischen Verhalten der anstehenden Gesteine verfügbar sind, werden im Rahmen der numerischen Berechnungen zum Tragverhalten des Gebirges die theoretisch aus den Scherparametern resultierenden Zugfestig-

keiten konservativ auf 25% ihres rechnerischen Zahlenwertes reduziert. In der Konsequenz folgt für die im Rahmen der numerischen Berechnungen angesetzten Festigkeitseigenschaften:

$$c_B = 7,5 \text{ MPa} / \varphi_B = 38,5^\circ \quad \rightarrow \sigma_z = 1,80 \text{ MPa (Gesteinsbruchfestigkeit)}$$

$$c_R = 2,6 \text{ MPa} / \varphi_R = 34,8^\circ \quad \rightarrow \sigma_z = 0,67 \text{ MPa (Gesteinsrestfestigkeit)}$$

$$c_G = 0,8 \text{ MPa} / \varphi_G = 28,0^\circ \quad \rightarrow \sigma_z = 0,24 \text{ MPa (Gebirgsfestigkeit)}$$

## 6.2 Rechnerische Untersuchungen zum Tragverhalten

Basierend auf den in Abschnitt 6.1 zusammengestellten Daten zur geometrischen und physikalischen Idealisierung werden die in Tab. 6.1 zusammengestellten Rechenläufe analysiert.

Rechenlauf	Teufe	Gebirgseigenschaften elastisch			Gebirgseigenschaften plastisch		Fluiddruck p, MPa
	z, m	$E_v$ , MPa	$\nu$ , -	$c$ , MPa	$\varphi$ , °		
1	700	10	0,2	-	-		0
2	600	10	0,2	-	-		0
3	800	10	0,2	-	-		0
4	300	10	0,2	-	-		0
5	200	10	0,2	-	-		0
6	700	5	0,2	-	-		0
7	700	20	0,2	-	-		0
8	700	10	0,2		7,5 38,5		0
9	700	10	0,2		2,6 34,8		0
10	700	10	0,2		0,8 28,0		0

Tab. 6.1: Zusammenstellung der analysierten Rechenläufe

Die Auswertung der in Tab. 6.1 zusammengestellten Rechenläufe erfolgt grundsätzlich durch flächenhafte und linienförmige Auftragungen der berechneten Zustandsgrößen für unterschiedlich orientierte Schnitte durch das Berechnungsmodell. Als Zustandsgrößen bzw. daraus abgeleitete Größen werden aufgetragen:

- (a) Hauptspannungen  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$
- (b) Koordinatenspannungen,  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$
- (c) Vergleichsspannungen  $\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$
- (d) Vergleichsverzerrungen  $\varepsilon_v = \sqrt{\frac{2}{9} \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}$
- (e) Verschiebungen  $s = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$
- (f) Ausnutzungsgrade  $\eta = \frac{\sigma_v}{\beta_{(\sigma_3)}}$
- (g) Plastifizierte Zonen

Die Interpretation und Auswertung der durch unterschiedliche Materialeigenschaften, Teufenlagen und Fluiddrücke induzierten Auswirkungen auf das Tragverhalten des Berechnungsmodells erfolgt nachstehend durch eine dem jeweiligen Nachweisziel angemessene Dokumentation ausgewählter Schnitte und Zustandsgrößen.

Die Bilder 6.9 und 6.10 zeigen für zwei ausgewählte Vertikalschnitte durch die Speicherstrecken die rechnerisch ermittelten Koordinatenspannungen für Berechnungslauf 1. Daraus deutlich zu erkennen ist, dass der durch die Speicherstrecken beeinflusste Gebirgsbereich auf eine Konturzone von wenigen Metern Mächtigkeit begrenzt ist. In einer Entfernung von ca. 10m oberhalb der Streckenfirste der Speicherstrecken bzw. unterhalb der Streckensohle der Speicherstrecken werden annähernd primäre Spannungszustände ausgewiesen. Auch kann den Bildern 6.9 und 6.10 entnommen werden, dass die zahlenmäßige Größe der Koordinatenspannungen außerhalb des durch die Streckenauffahrung beeinflussten Gebirgsbereiches dem mit  $\sigma_z = \gamma \times 0,025 \text{ MN/m}^3$  bzw.  $\sigma_x = \sigma_y = K_0 \times \sigma_z$  gegebenen Primärspannungszustand entspricht.



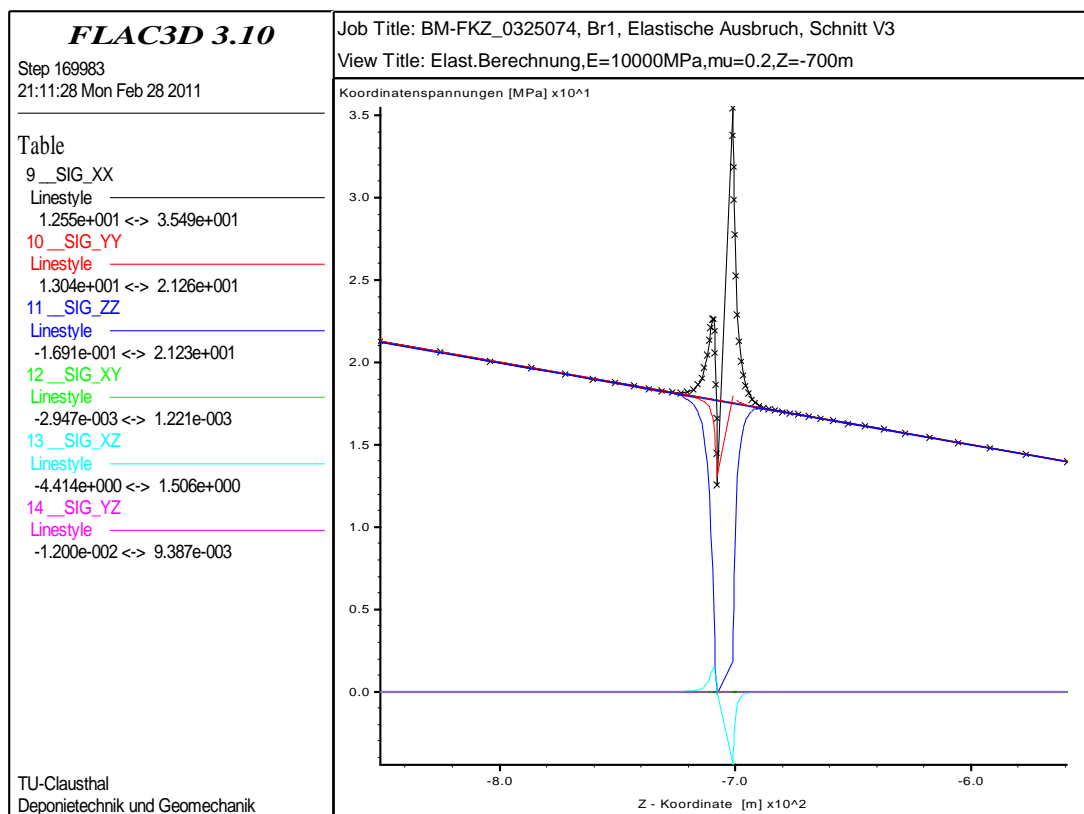
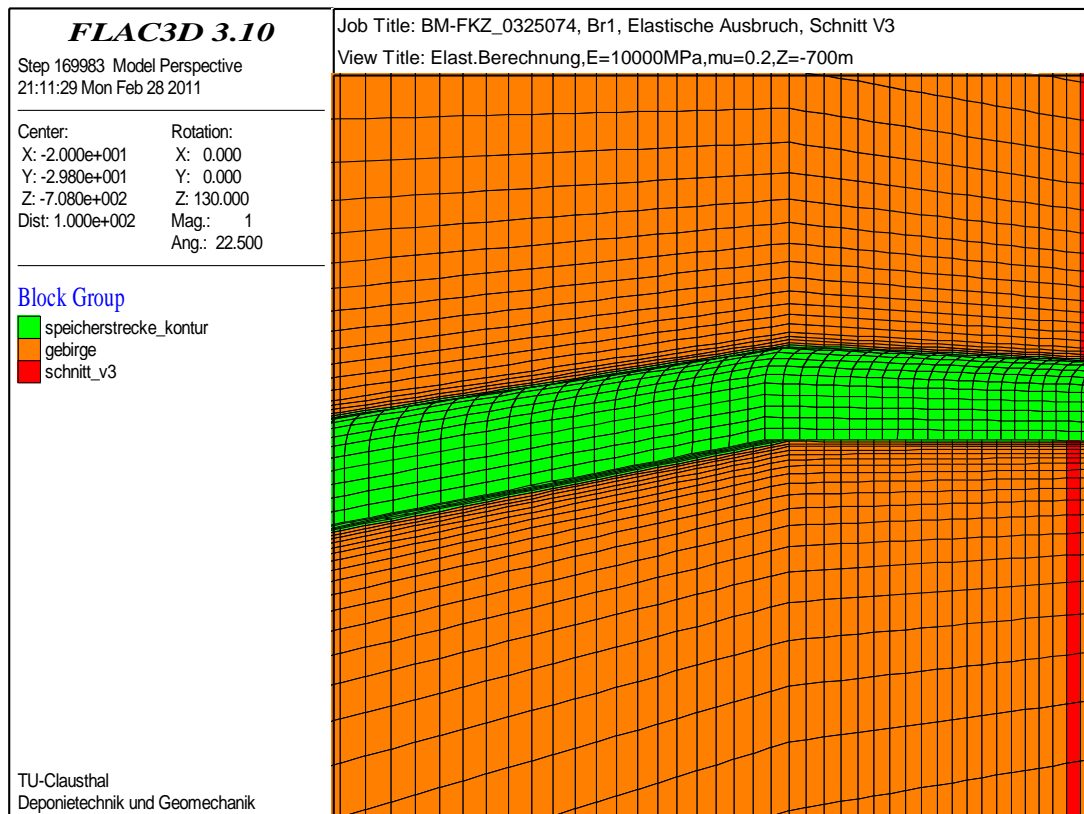


Bild 6.9: Koordinatenspannungen für einen Vertikalschnitt durch die Speicherstrecke – Berechnungslauf 1 / Tab. 6.1

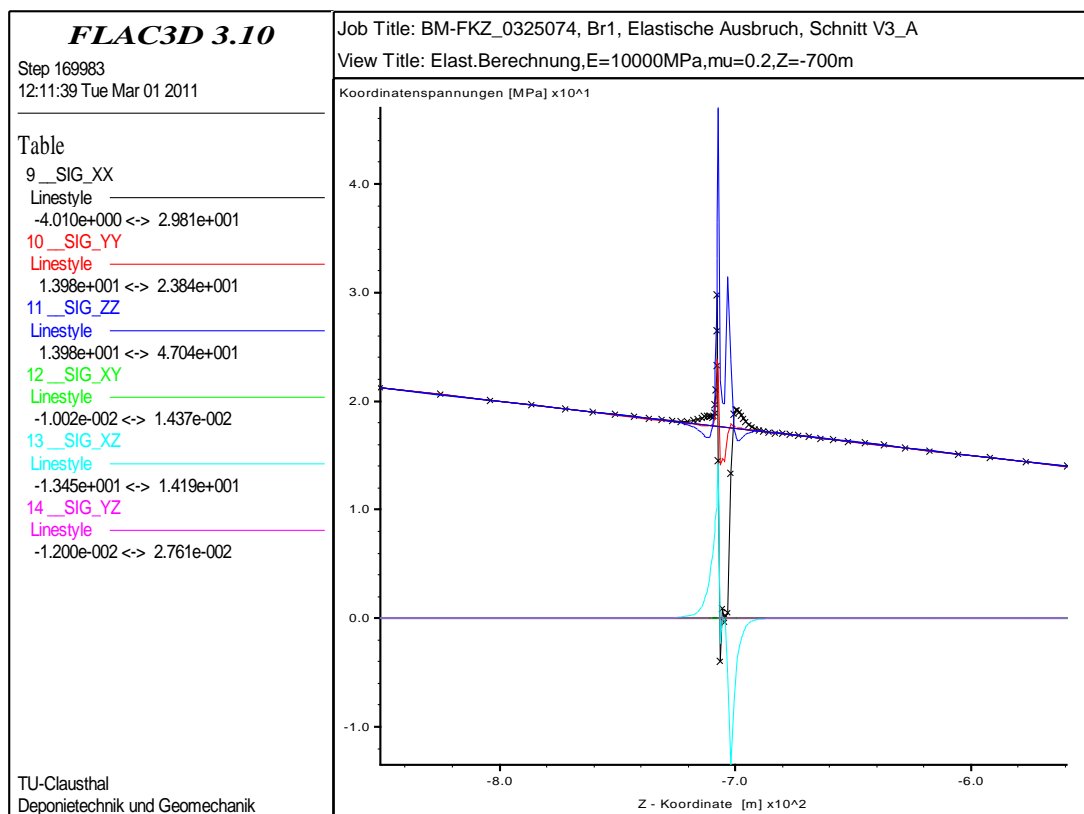
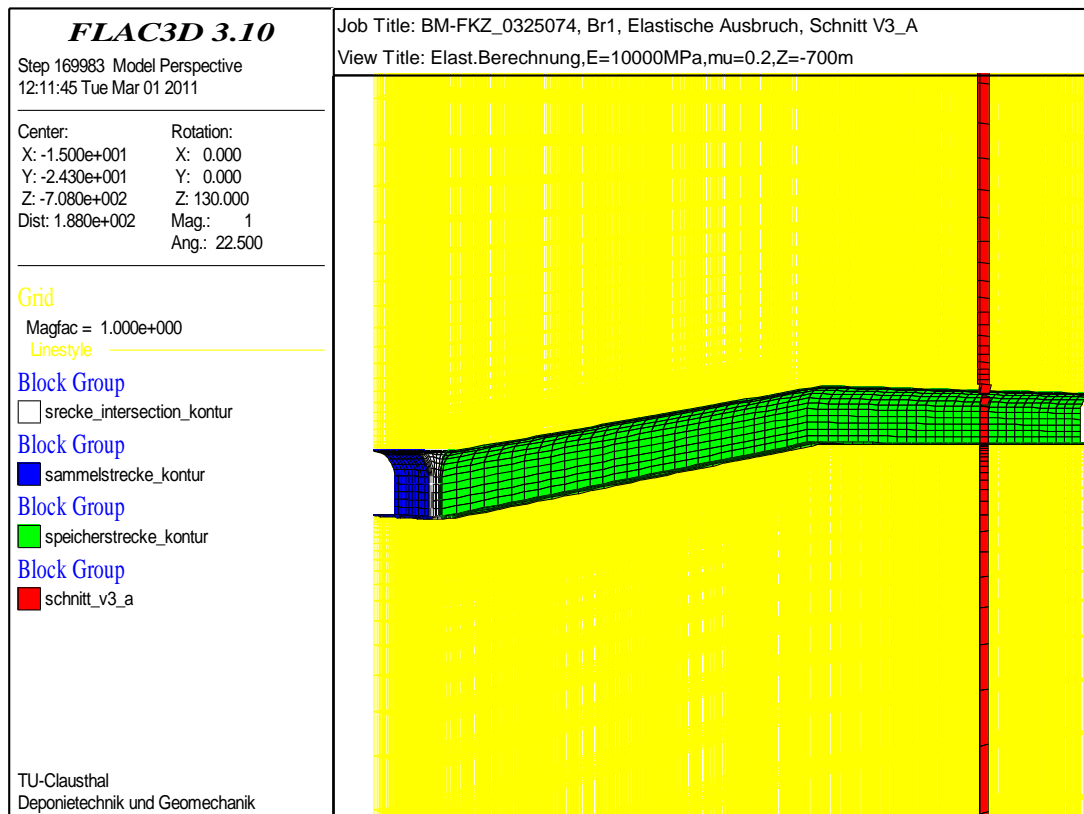


Bild 6.10: Koordinatenspannungen für einen Vertikalschnitt durch die Speicherstrecke – Berechnungslauf 1 / Tab. 6.1

Die im unmittelbaren Konturbereich der Speicherstrecken ausgewiesenen Maximalspannungen entsprechen mit ca. 35 MPa (Bild 6.9) bzw. ca. 47 MPa (Bild 6.10) in der Größenordnung den in Kapitel 5 auf der Grundlage analytischer Verfahren berechneten Spannungen.

Einen zu den Bildern 6.9 und 6.10 deutlich verschiedenen Verlauf der Koordinatenspannungen zeigen die in den Bildern 6.11 bis 6.14 gezeigten Vertikalschnitte im Bereich der Sammelstrecke bzw. im Kreuzungsbereich zwischen Sammelstrecke und Speicherstrecke. Deutlich zu erkennen ist aus den Bildern 6.11 bis 6.14, dass das durch die Streckenauffahrung beeinflusste Gebirge im Bereich der Sammelstrecke eine Mächtigkeit von ca. 15m oberhalb der Streckenfirste und unterhalb der Streckensohle besitzt und im unmittelbaren Kreuzungsbereich zwischen Speicherstrecke und Sammelstrecke eine Mächtigkeit von ca. 20m. Auch kann den Auftragungen in den Bildern 6.11 bis 6.14 entnommen werden, dass die dem jeweils unverritzten Gebirge unmittelbar benachbarten Zonen des Berechnungsmodells signifikant höhere Spannungen ausweisen, als die im Niveau der Streckenmitten lokalisierten Zonen. Ursächlich hierfür ist die Ausbildung eines Traggewölbes, welches durch die Umlagerung der Deckgebirgslasten in die der Strecke benachbarten Pfeiler bzw. Festen resultiert. Der Maximalwert der Koordinatenspannungen wird erwartungsgemäß im Bereich der Streckenkreuze berechnet. Er ist entsprechend der Darstellung in Bild 6.14 mit ca. 78 MPa in etwa doppelt so groß wie der auf der Grundlage analytischer Berechnungen für eine Einzelstrecke berechnete Erwartungswert. Damit ist ausgesagt, dass die auf der Grundlage analytischer Berechnungen für idealisierte Einzelstrecken berechneten Tragwerksbeanspruchungen nur dann als repräsentativ für das Tragverhalten angesetzt werden können, wenn der betrachtete Gebirgsbereich in hinreichender Entfernung von den Streckenkreuzen lokalisiert ist. Das Tragverhalten im Bereich der Streckenkreuze kann dagegen auf der Grundlage analytischer Berechnungen nicht hinreichend repräsentativ abgebildet werden. Die sich wechselseitig überlagernden Umlagerungsspannungen aus der Auffahrung von Speicher- und Sammelstrecken können nur auf der Grundlage numerischer Berechnungen hinreichend genau ermittelt werden.

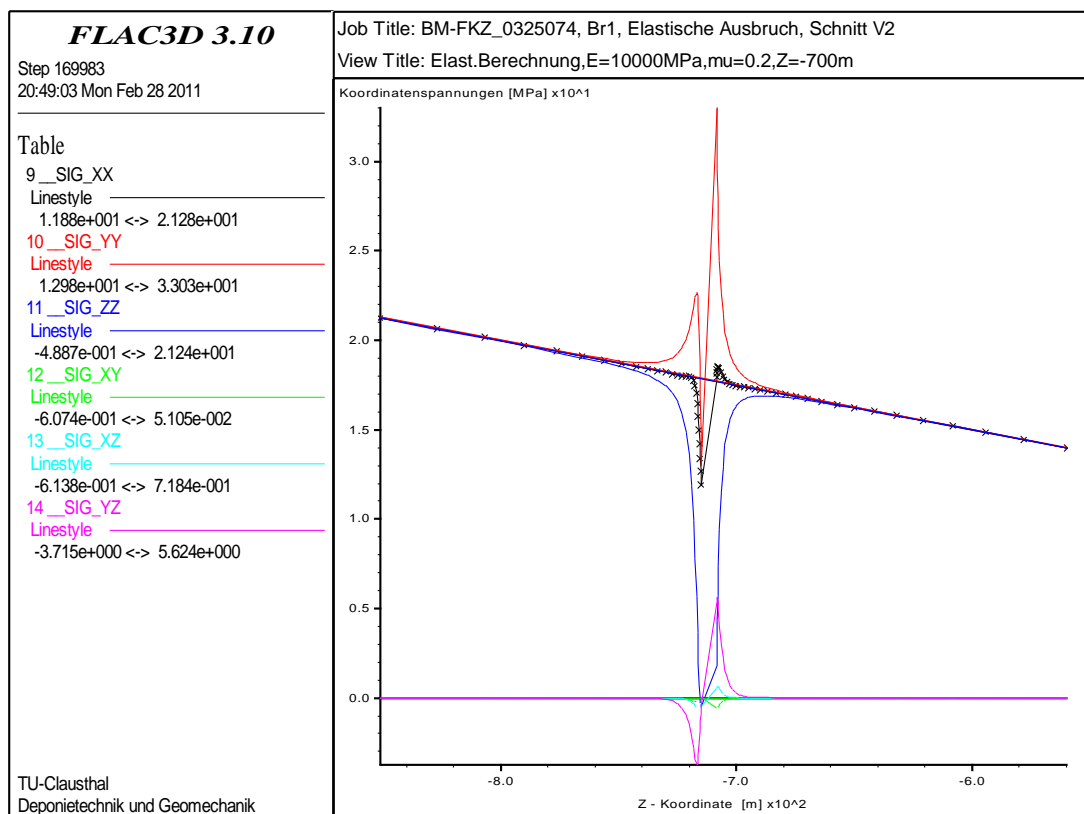
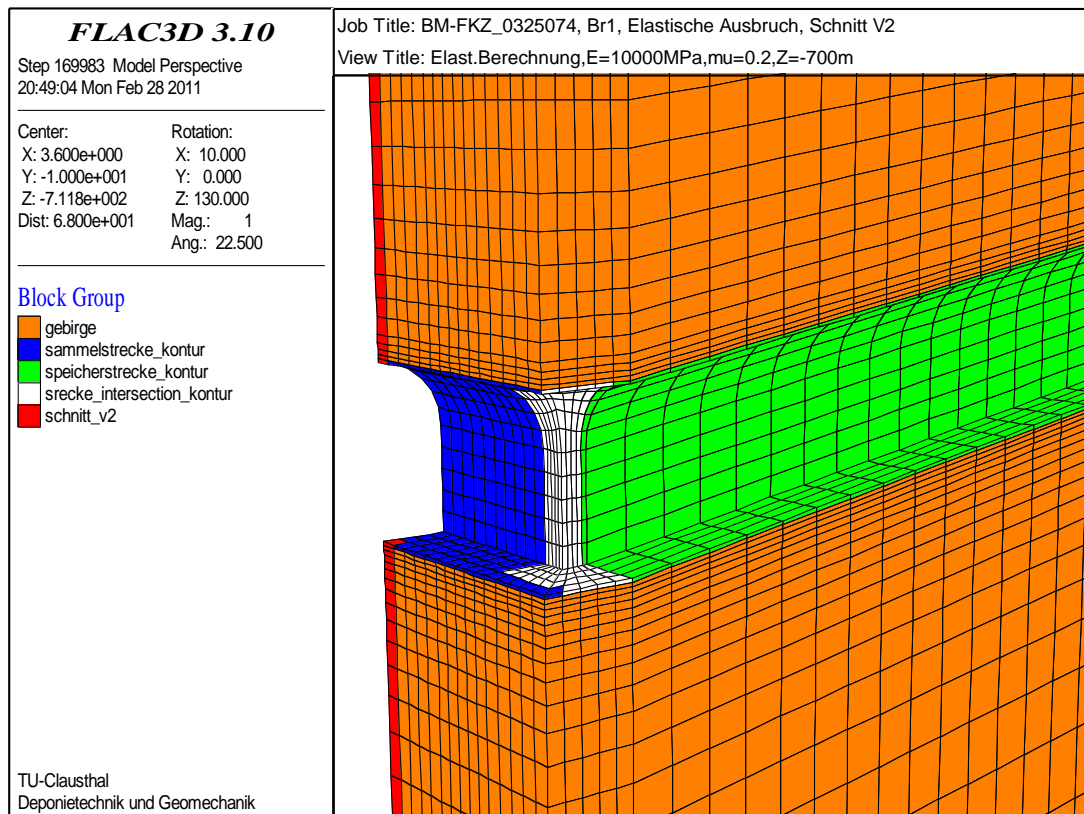


Bild 6.11: Koordinatenspannungen für einen Vertikalschnitt durch das Berechnungsmodell – Berechnungslauf 1 / Tab. 6.1

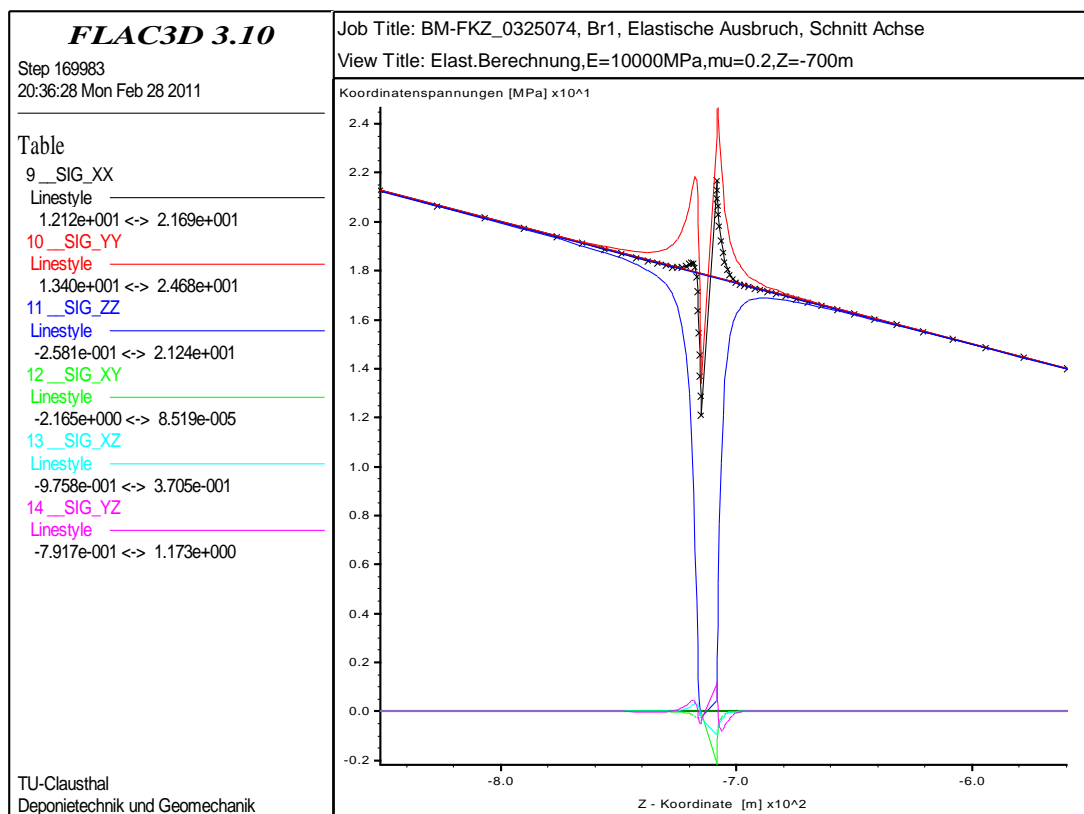
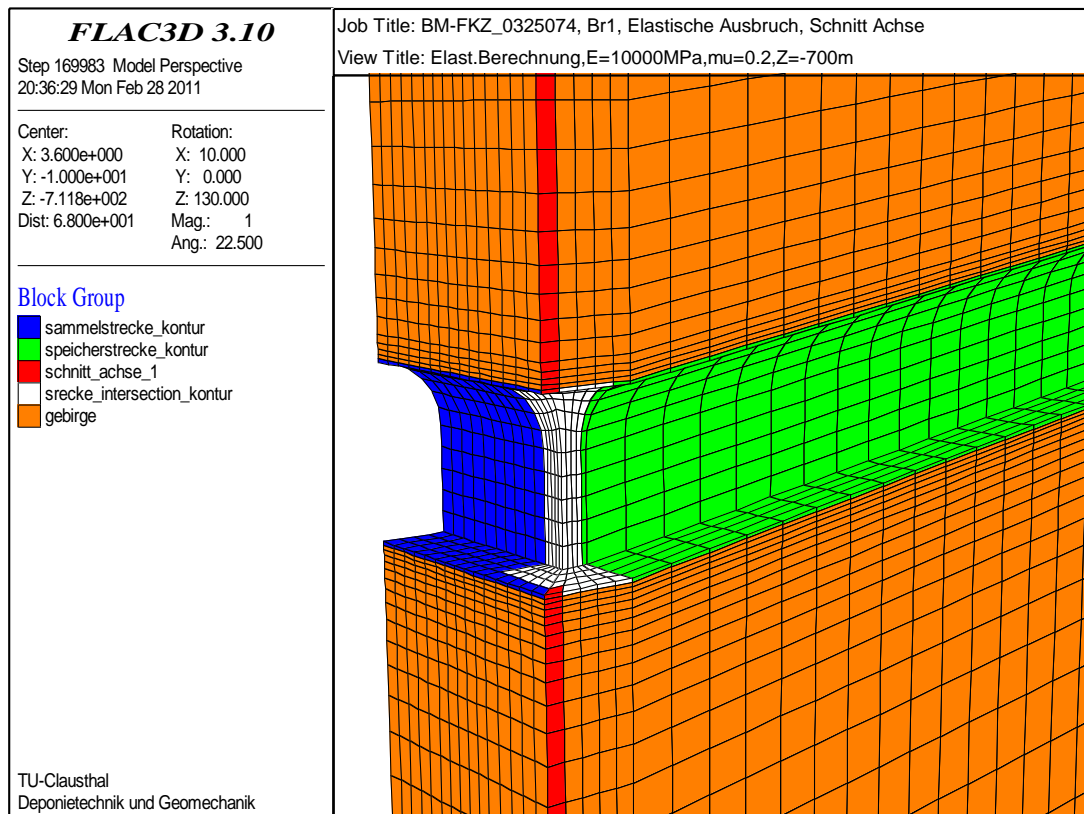


Bild 6.12: Koordinatenspannungen für einen Vertikalschnitt durch das Berechnungsmodell – Berechnungslauf 1 / Tab. 6.1

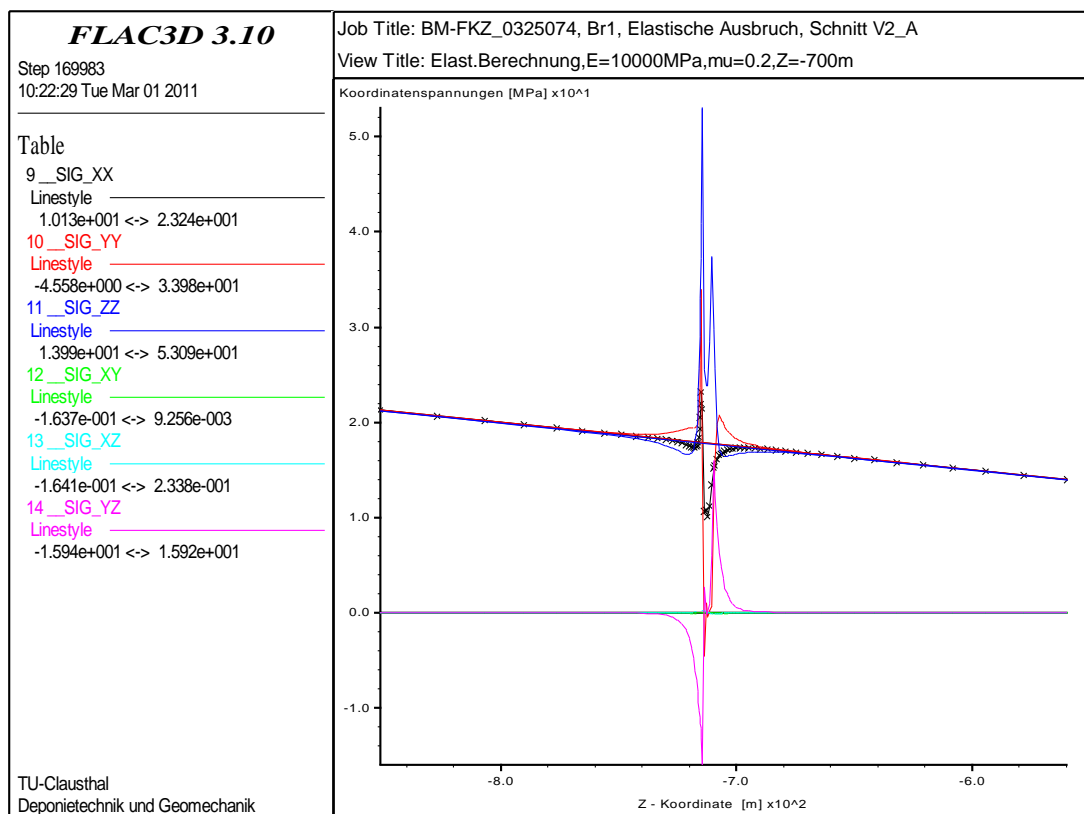
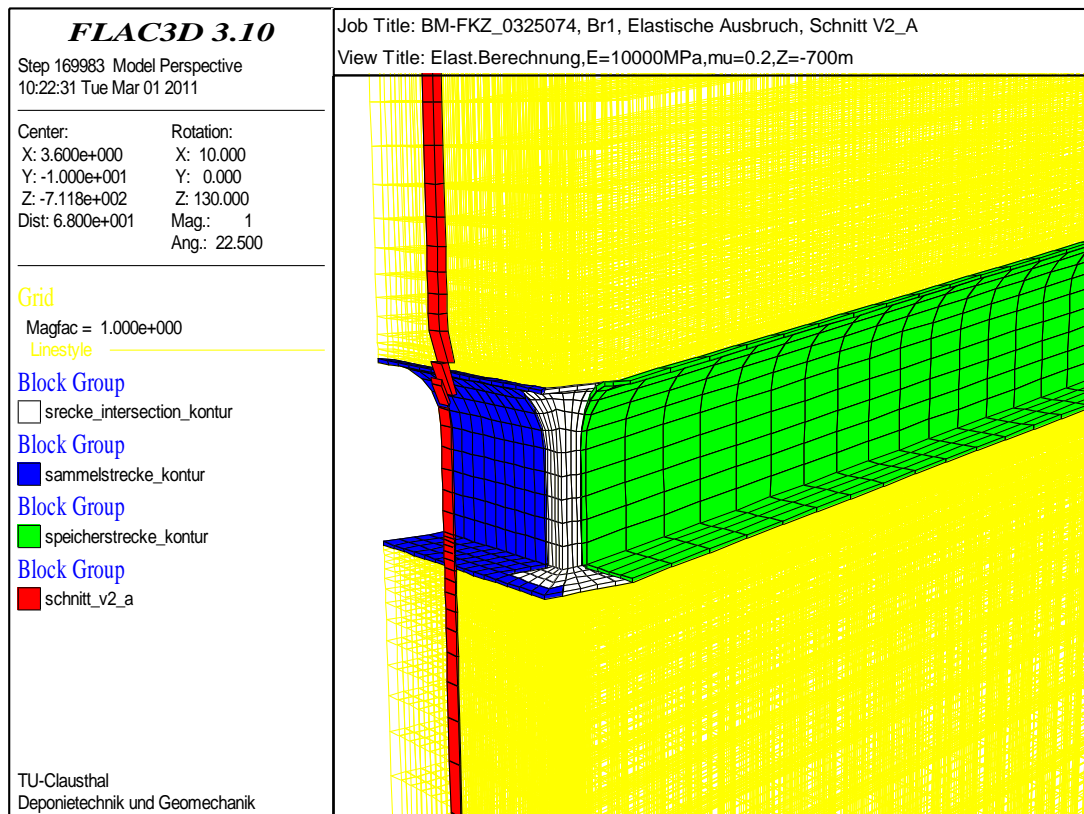


Bild 6.13: Koordinatenspannungen für einen Vertikalschnitt durch das Berechnungsmodell – Berechnungslauf 1 / Tab. 6.1

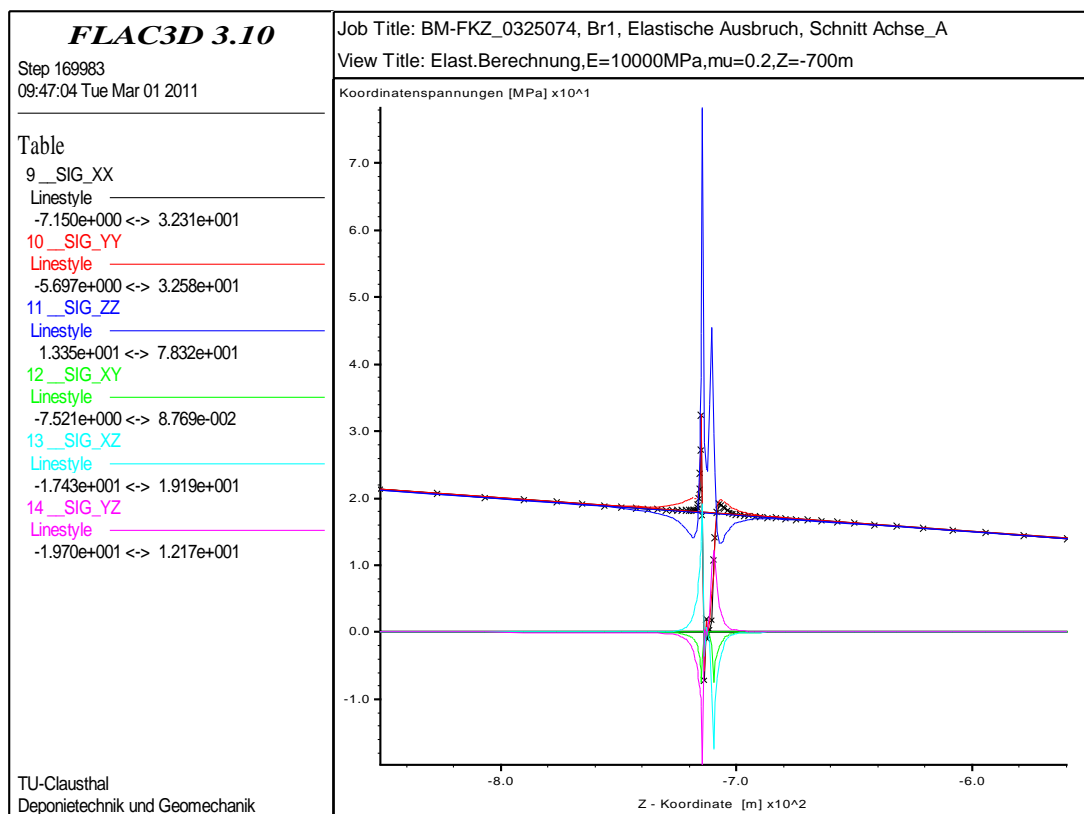
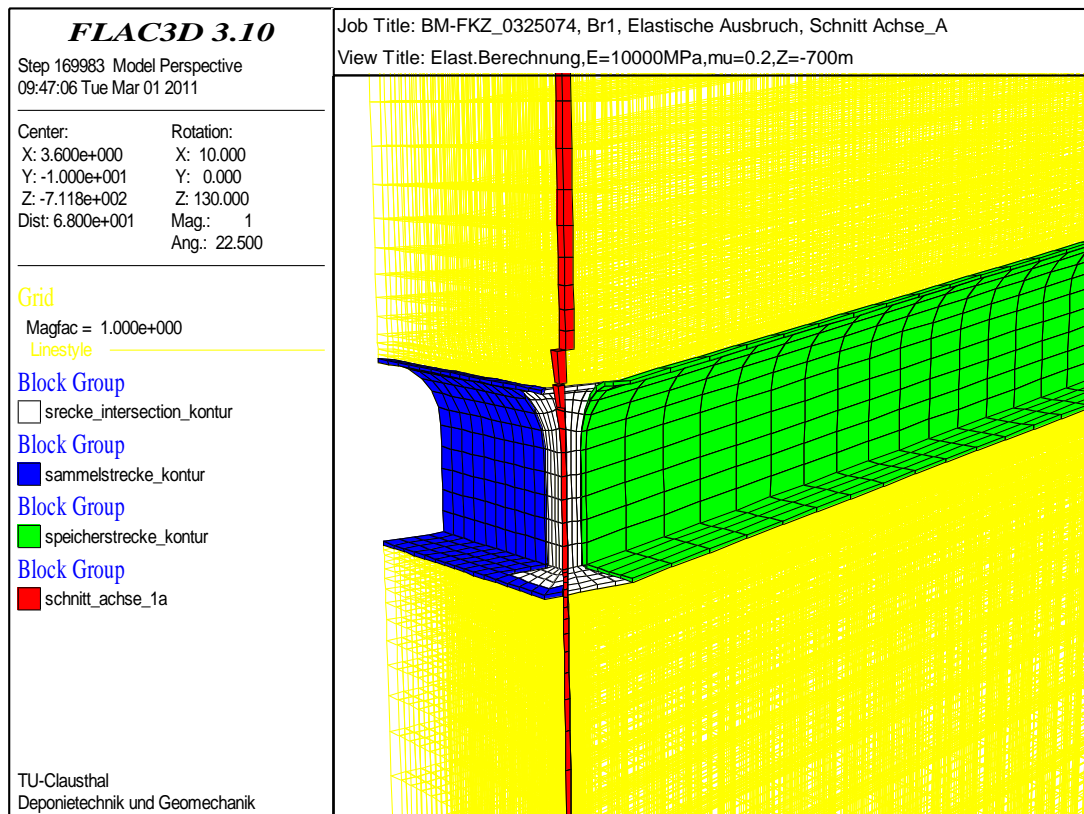


Bild 6.14: Koordinatenspannungen für einen Vertikalschnitt durch das Berechnungsmodell – Berechnungslauf 1 / Tab. 6.1



Für eine erste Analyse der Teufenabhängigkeit der Gebirgsbeanspruchung zeigen die Bilder 6.16 bis 6.20 eine flächenhafte Auftragung der rechnerisch für variierte Teufenlagen von  $z = 200\text{m}$ ,  $z = 300\text{m}$ ,  $z = 600\text{m}$ ,  $z = 700\text{m}$  und  $z = 800\text{m}$  ermittelten Vergleichsspannungen  $\sigma_v$ . Eine graphische Auftragung der jeweils berechneten Maximalwerte  $\sigma_v$  in Abhängigkeit von der Teufe zeigt Bild 6.15. Daraus deutlich zu erkennen ist, dass bei Ansatz eines linear elastischen Materialverhaltens der linear mit der Teufe zunehmende Überlagerungsdruck in einer linearen Zunahme der Gebirgsbeanspruchung resultiert. Ein Vergleich der Teufenabhängigkeit der numerisch berechneten Vergleichsspannung  $\sigma_v$  mit der ebenfalls in Bild 6.15 eingetragenen Abhängigkeit zwischen der mit Gl. (3.15) berechneten Tangentialspannung und der Streckenteufe zeigt, dass der numerisch ermittelte Proportionalitätsfaktor zwischen Vergleichsspannung und Teufe größer ist als der analytisch durch die Wichte  $\gamma$  mit  $\gamma = 0,025 \text{ MN/m}^3$  vorgegebene Proportionalitätsfaktor.

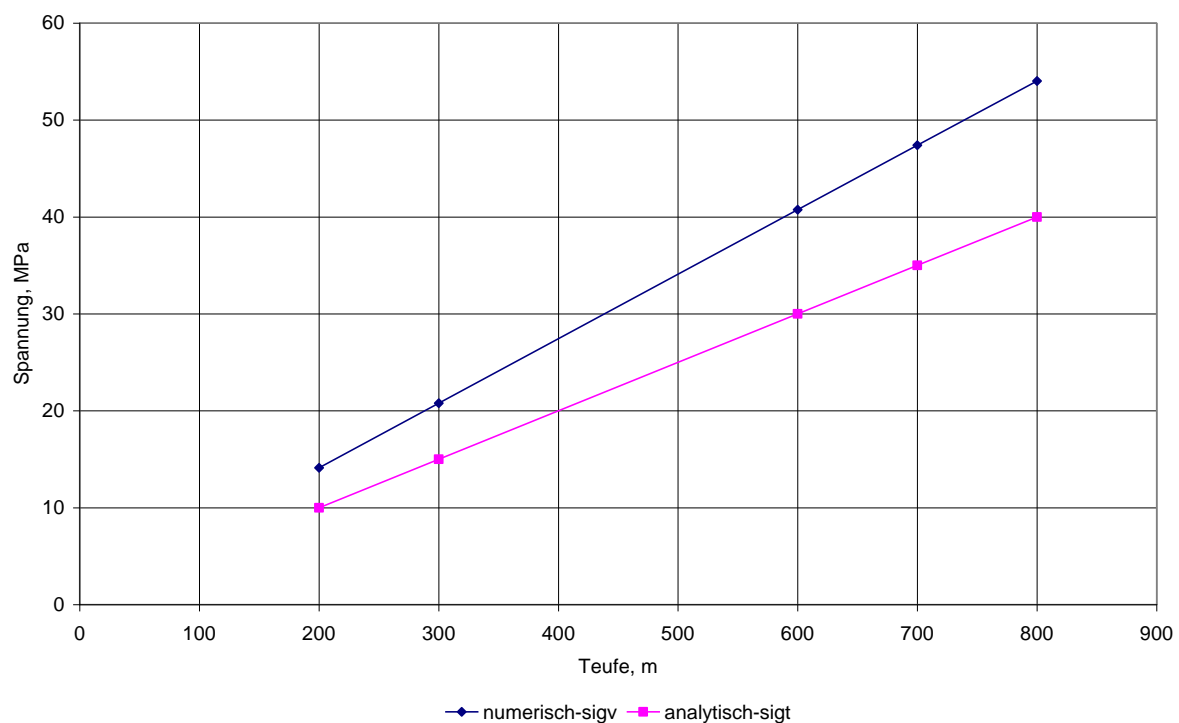


Bild 6.15: Teufenabhängigkeit der numerisch und analytisch berechneten maximalen Gebirgsspannungen

Offensichtlich führt die Überlagerung der Umlagerungsspannungen aus der Auffahrung der Speicher- und Sammelstrecken im Bereich der Streckenkreuze zu einem über das Maß der Gebirgswichte hinausgehenden Anstieg der maximalen Gebirgsbeanspruchung.

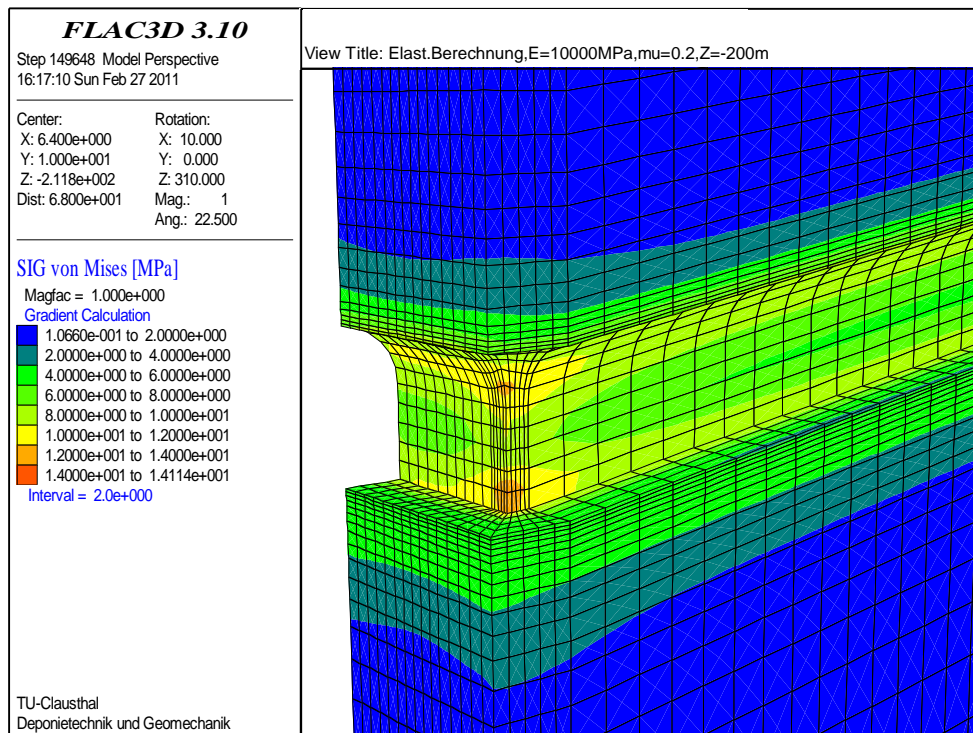


Bild 6.16: Flächenhafte Darstellung der numerisch berechneten Vergleichsspannung – Berechnungslauf 5 –  $z = 200\text{m}$

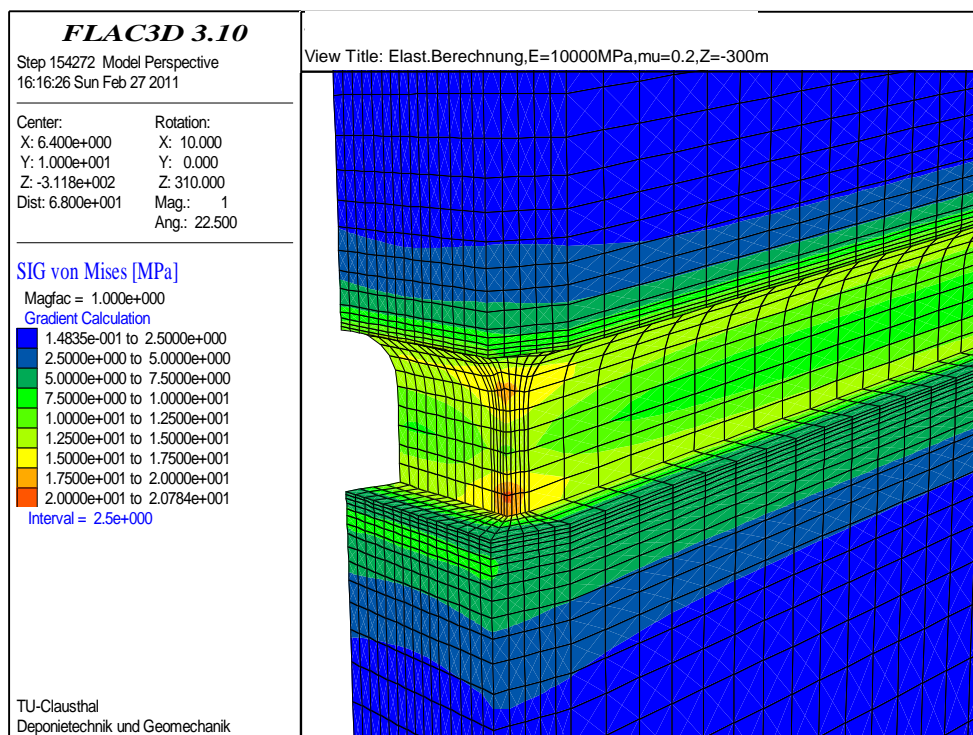


Bild 6.17: Flächenhafte Darstellung der numerisch berechneten Vergleichsspannung – Berechnungslauf 4 –  $z = 300\text{m}$

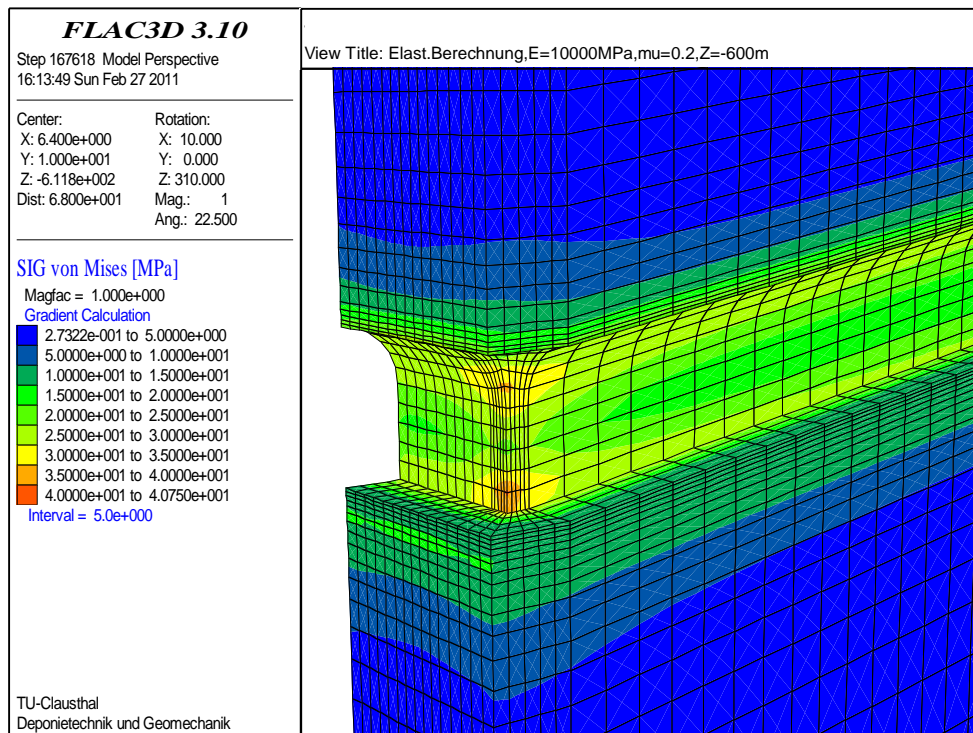


Bild 6.18: Flächenhafte Darstellung der numerisch berechneten Vergleichsspannung – Berechnungslauf 2 –  $z = 600\text{m}$

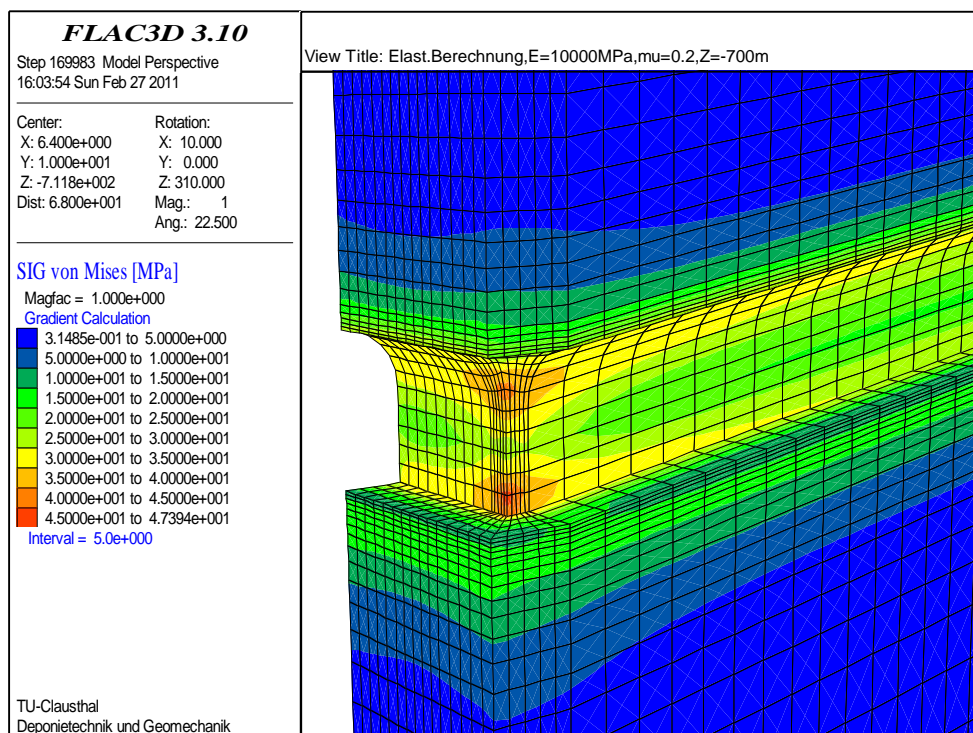


Bild 6.19: Flächenhafte Darstellung der numerisch berechneten Vergleichsspannung – Berechnungslauf 1 –  $z = 700\text{m}$

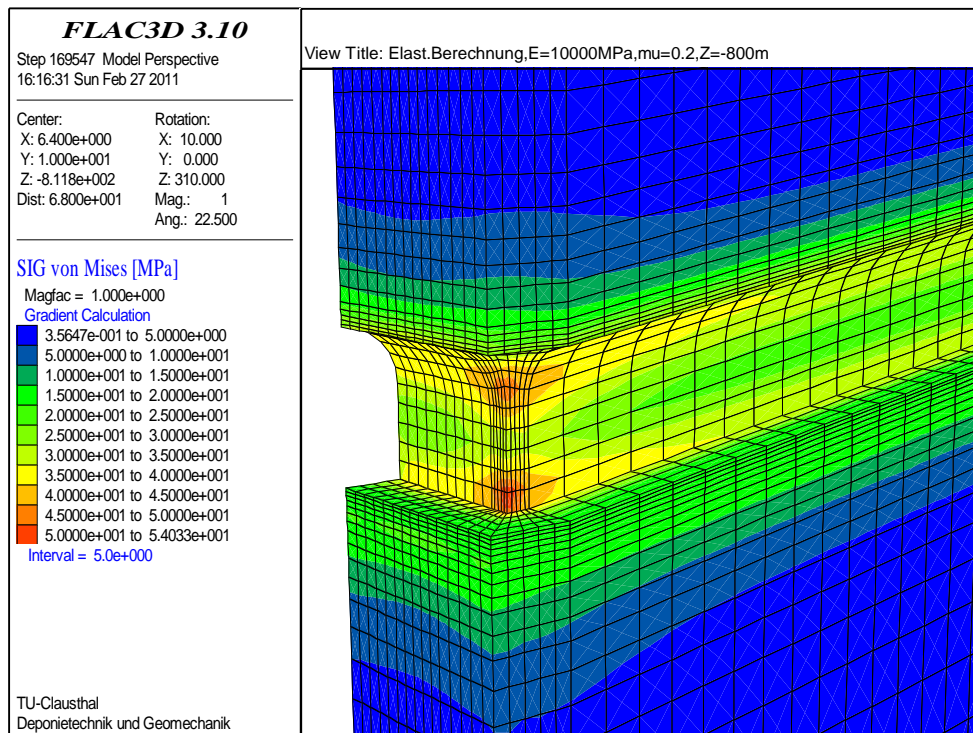


Bild 6.20: Flächenhafte Darstellung der numerisch berechneten Vergleichsspannung – Berechnungslauf 3 –  $z = 800\text{m}$

Für eine erste Einschätzung der Standsicherheit wurden die in den Bildern 6.16 bis 6.20 dokumentierten Vergleichsspannungen der entsprechend Kapitel 6.1 eingeschätzten Gesteinsbruchfestigkeit, Gesteinsrestfestigkeit und Gebirgsfestigkeit gegenübergestellt. Als Maß für die Standsicherheit wurde für jeden Knotenpunkt des Berechnungsmodells der Quotient aus der Vergleichsspannung  $\sigma_v$  und der Gesteins- bzw. Gebirgsfestigkeit berechnet. Der als Ausnutzungsgrad  $\eta$  bezeichnete Quotient definiert bei  $\eta < 1$  Gebirgsbereiche, in denen die eingeschätzte Tragfähigkeit des Gebirges größer ist als die rechnerisch ermittelte Gebirgsbeanspruchung, d.h. ein bruchhaftes Versagen des Gebirges nicht zu besorgen ist bzw. auf einen Unterstützungsausbau verzichtet werden kann. Zahlenwerte von  $\eta > 1$  definieren dagegen Gebirgsbereiche, in denen die rechnerisch ermittelten Spannungen im Gebirge größer sind als die eingeschätzte Gebirgsfestigkeit, d.h. Gebirgsbereiche, in denen ohne einen Unterstützungsausbau ein Bruchversagen zu besorgen ist.

Die Bilder 6.21 bis 6.23 zeigen, dass bereits im Teufenniveau des Oberbeckens bei  $z = 200\text{m}$  Ausnutzungsgrade von  $\eta > 1$  berechnet werden, wenn die eingeschätzte Festigkeit des anstehenden Gebirges kleiner ist, als die im Rahmen der Projektstudie angesetzte Gesteinsbruchfestigkeit. Entsprechend der Darstellung in Bild 6.22 resultieren bei Ansatz



eines Gebirgstragvermögens im Niveau der Gesteinsrestfestigkeit im Bereich der Streckenkreuze Konturzonen, in denen die rechnerisch ermittelten Gebirgsspannungen größer sind als das angesetzte Tragvermögen. Bei weiterer Reduktion des Tragvermögens auf die mit  $c = 0,8 \text{ MPa}$  und  $\varphi = 28^\circ$  angesetzte Gebirgsfestigkeit ist entsprechend der Darstellung in Bild 6.23 eine Konturzone von ca. 0,75m bis 1,0m Mächtigkeit charakterisiert durch Zahlenwerte von  $\eta > 1$ . Auch kann den Auftragungen in den Bildern 6.21 bis 6.23 entnommen werden, dass außerhalb der Firstwölbung im Bereich der Streckenstöße und im Bereich der Streckensohle Zugspannungen berechnet werden, die größer sind als die entsprechend Kapitel 6.1 angesetzte Zugfestigkeit.

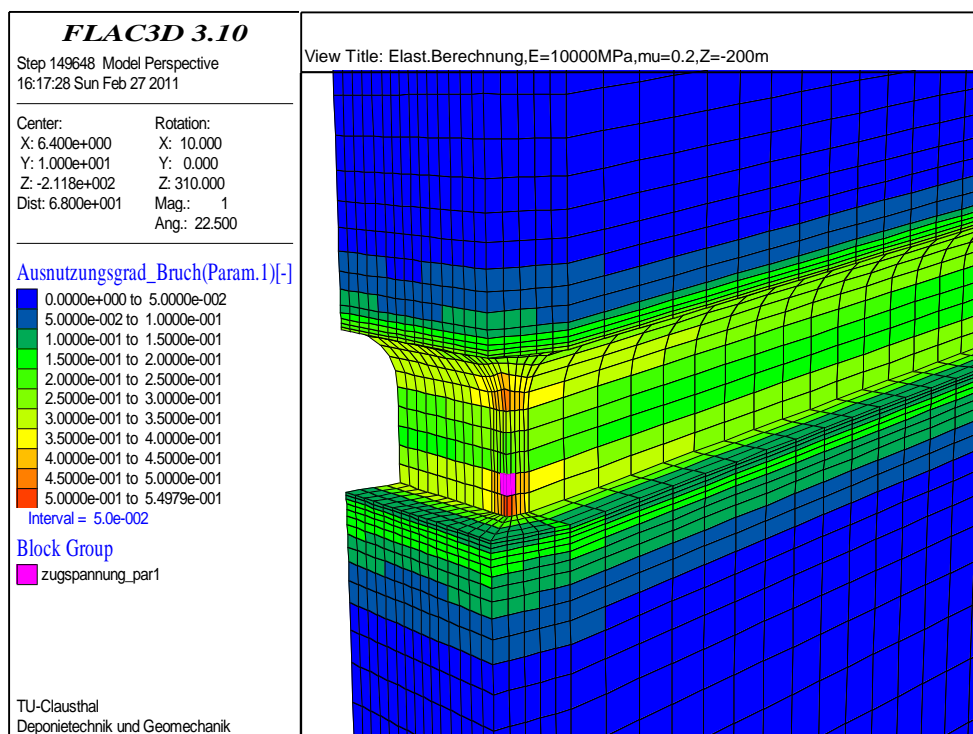


Bild 6.21: Flächenhafte Darstellung des auf die Gesteinsbruchfestigkeit bezogenen Ausnutzungsgrades – Berechnungslauf 5 –  $z = 200\text{m}$

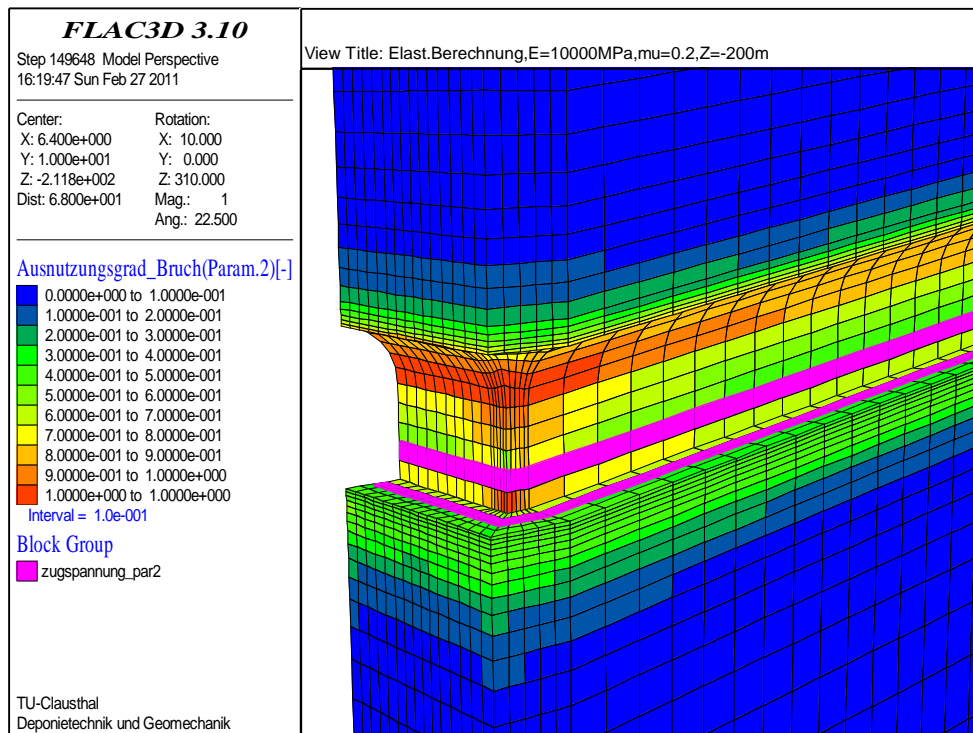


Bild 6.22: Flächenhafte Darstellung des auf die Gesteinsrestfestigkeit bezogenen Ausnutzungsgrades – Berechnungslauf 5 –  $z = 200\text{m}$

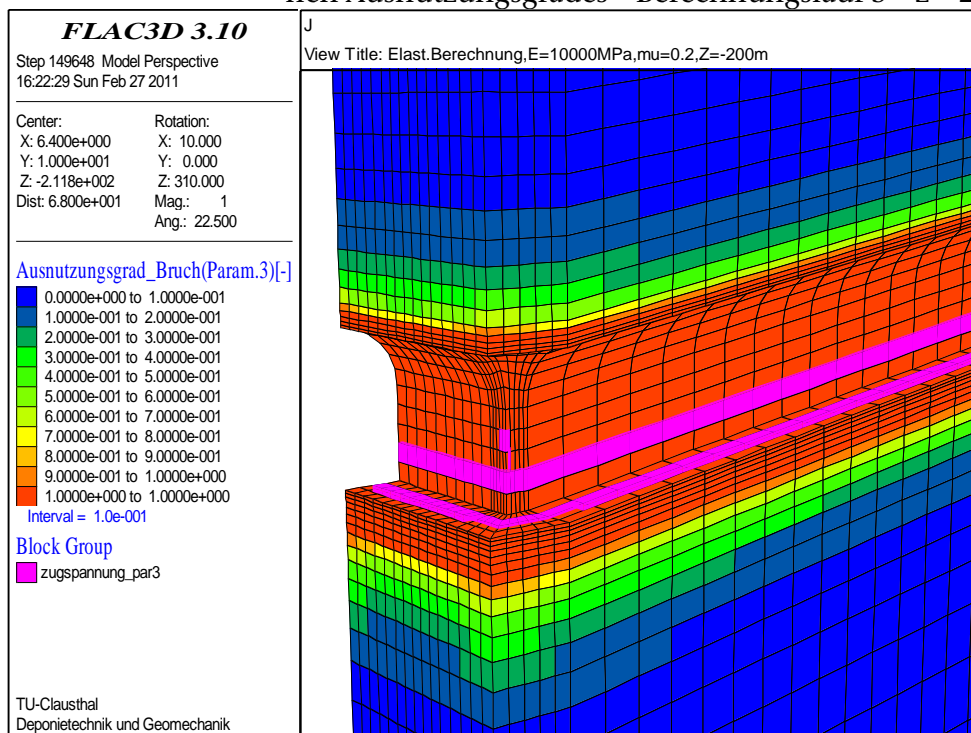


Bild 6.23: Flächenhafte Darstellung des auf die Gebirgsfestigkeit bezogenen Ausnutzungsgrades – Berechnungslauf 5 –  $z = 200\text{m}$

In der Konsequenz ist davon auszugehen, dass zumindest das im Rahmen der Projektstudie konfigurierte Parallelstreckensystem grundsätzlich einen Unterstützungsausbau erfordert, wobei Umfang und Qualität des erforderlichen Unterstützungsausbaus wesentlich abhängig sind von der standortbezogenen Qualität des anstehenden Gebirges. Auch kann aus den Darstellungen in den Bildern 6.21 bis 6.23 geschlussfolgert werden, dass die im Rahmen der Projektstudie gewählte Querschnittsform von Speicher- und Sammelstrecken im Rahmen weiterführender Untersuchungen mit dem Ziel optimiert werden muss, eine Streckengeometrie zu entwickeln, bei der die Lasten aus dem überlagernden Deckgebirge im Sinne der Ausbildung eines gebirgsmechanisch günstigen Druckgewölbes unter weitgehender Vermeidung von Zugspannungen abgetragen werden.

Zur Dokumentation des rechnerischen Tragvermögens im Teufenniveau des Unterbeckens ( $\rightarrow z = 700\text{m}$ ) zeigen die Bilder 6.24 bis 6.26 die bei Ansatz eines linear elastischen Materialverhaltens berechneten Ausnutzungsgrade. Deutlich zu erkennen ist aus den Bildern 6.24 bis 6.26, dass die Gebirgsbereiche, in denen eine Überschreitung des Tragvermögens durch  $\eta > 1$  ausgewiesen wird, signifikant größer sind als die in den Bildern 6.21 bis 6.23 für  $z = 200\text{m}$  ausgewiesenen Gebirgsbereiche. Eine gleich lautende Aussage gilt für Gebirgsbereiche mit Überschreitung der rechnerisch angesetzten Zugfestigkeit.



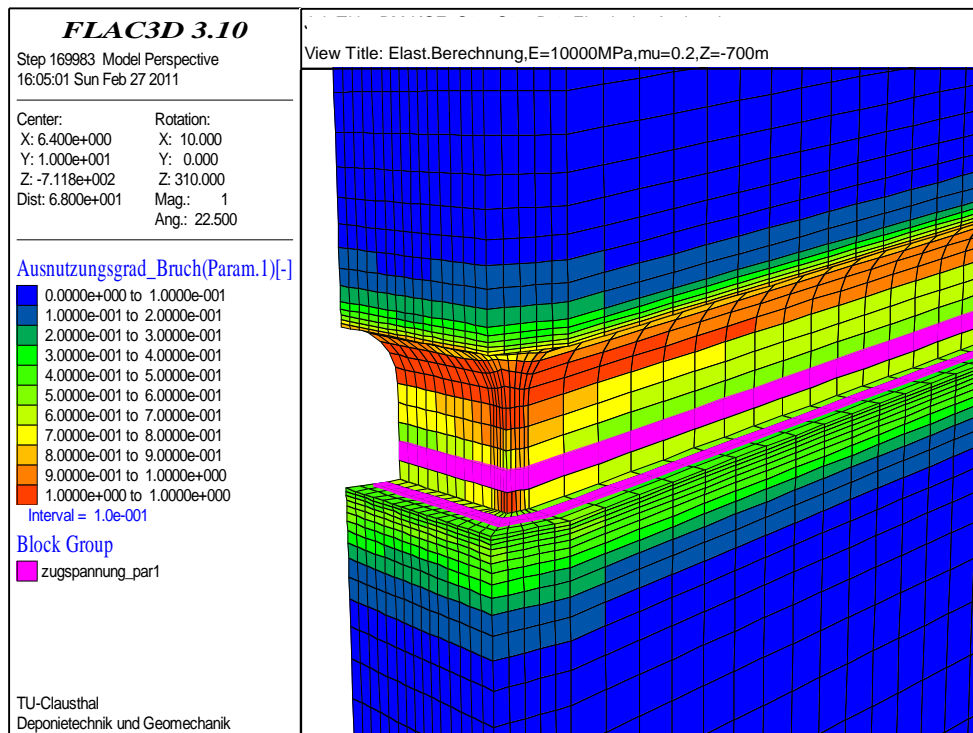


Bild 6.24: Flächenhafte Darstellung des auf die Gebirgsfestigkeit bezogenen Ausnutzungsgrades – Berechnungslauf 1 –  $z = 700\text{m}$

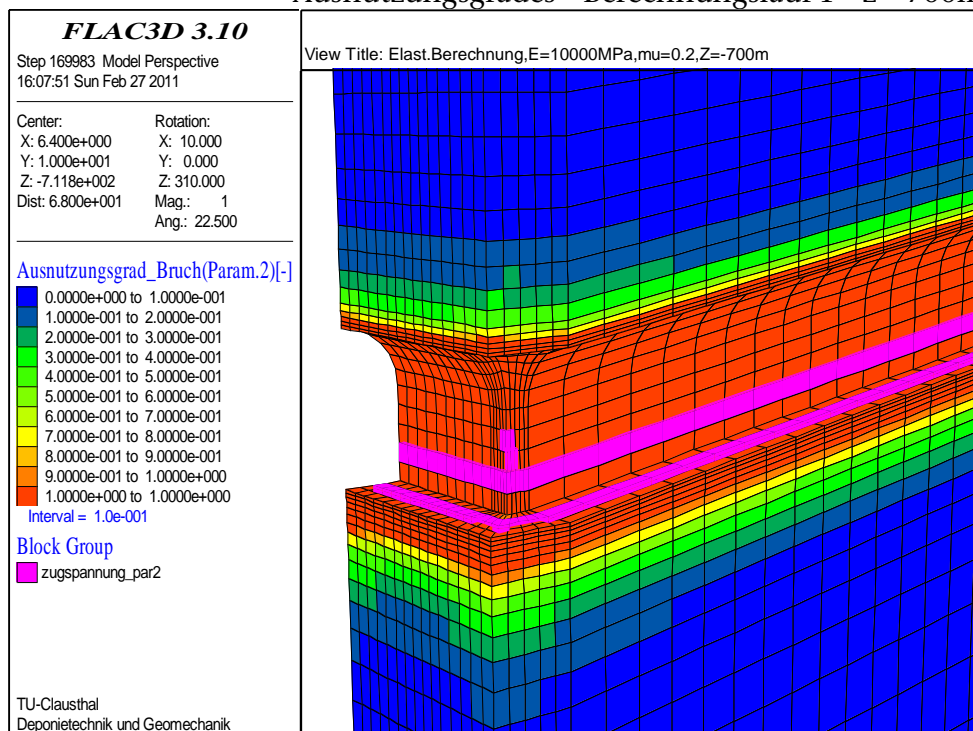


Bild 6.25: Flächenhafte Darstellung des auf die Gebirgsfestigkeit bezogenen Ausnutzungsgrades – Berechnungslauf 1 –  $z = 700\text{m}$

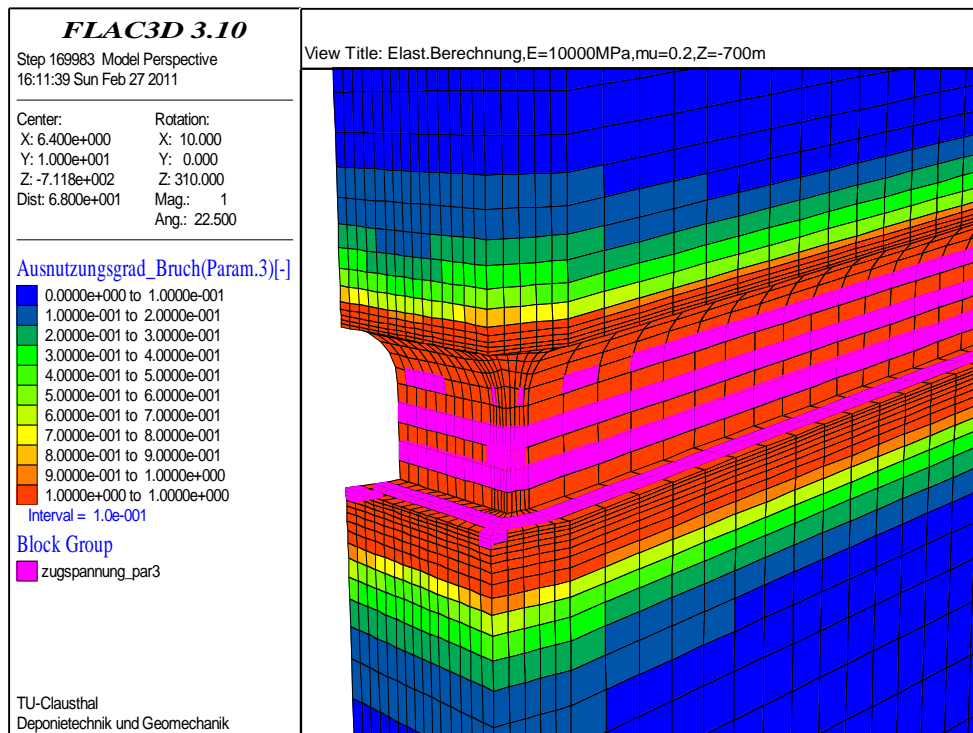


Bild 6.26: Flächenhafte Darstellung des auf die Gebirgsfestigkeit bezogenen Ausnutzungsgrades – Berechnungslauf 1 –  $z = 700\text{m}$

Die Gegenüberstellung der bei Ansatz eines linear elastischen Materialverhaltens rechnerisch ermittelten Gebirgsspannungen mit den im Rahmen der Projektstudie angesetzten Festigkeitseigenschaften von Gestein und Gebirge hat gezeigt, dass abhängig vom gewählten Tragvermögen des Gebirges unterschiedlich mächtige Konturbereiche der Speicher- und Sammelstrecken eine Überschreitung der bruchlos ertragbaren Beanspruchungen ausweisen. Um die Größe der Gebirgsbereiche einzuschätzen, in denen eine Auflockerung in Folge Überschreitung der Festigkeit resultiert, ist im Rahmen der Rechenläufe 8, 9 und 10 das Tragverhalten bei Ansatz eines ideal plastischen Materialverhaltens nach *Mohr-Coulomb* analysiert worden. Im Unterschied zu einer linear elastischen Analyse des Tragverhaltens wird bei der plastischen Analyse die rechnerisch maximal zulässige Gebirgsbeanspruchung auf ein Maß begrenzt, welches der angesetzten Festigkeitsbedingung entspricht. Phänomenologisch wird dabei eine Beanspruchung oberhalb der Festigkeitsbedingung auf benachbarte Gebirgselemente umgelagert, bis für alle Elemente bzw. Zonen des Berechnungsmodells die Bedingung  $\eta \leq 1,0$  erfüllt ist. Diejenigen Elemente bzw. Zonen, in denen in Folge Überschreitung der Festigkeitsbedingung eine Spannungsumlagerung auf benachbarte Elemente erfolgt ist, werden als so genannte plastische Zonen bezeichnet. Eine graphische Darstellung der plastischen Zonen liefert vor diesem Hinter-

grund einen visuellen Eindruck von der räumlichen Ausdehnung der rechnerisch aufgelockerten Gebirgsbereiche.

Eine graphische Darstellung der plastischen Zonen bei Ansatz einer Teufenlage von  $z = 700\text{m}$  zeigt Bild 6.27 für ein im Niveau der Gesteinsbruchfestigkeit angesetztes Gebirgstragvermögen, Bild 6.28 für ein im Niveau der Gesteinsrestfestigkeit angesetztes Gebirgstragvermögen und Bild 6.29 für ein im Niveau der Gebirgsfestigkeit angesetztes Tragvermögen. Danach ist die Mächtigkeit des durch einen Ausbau zu unterstützenden Gebirgsbereiches charakterisiert durch minimal 0,2m bis 0,75m bei Ansatz eines Gebirgstragvermögens im Niveau der Gesteinsbruchfestigkeit und maximal 4,2m bis 7,4m bei Ansatz eines Tragvermögens im Niveau der Gebirgsfestigkeit.

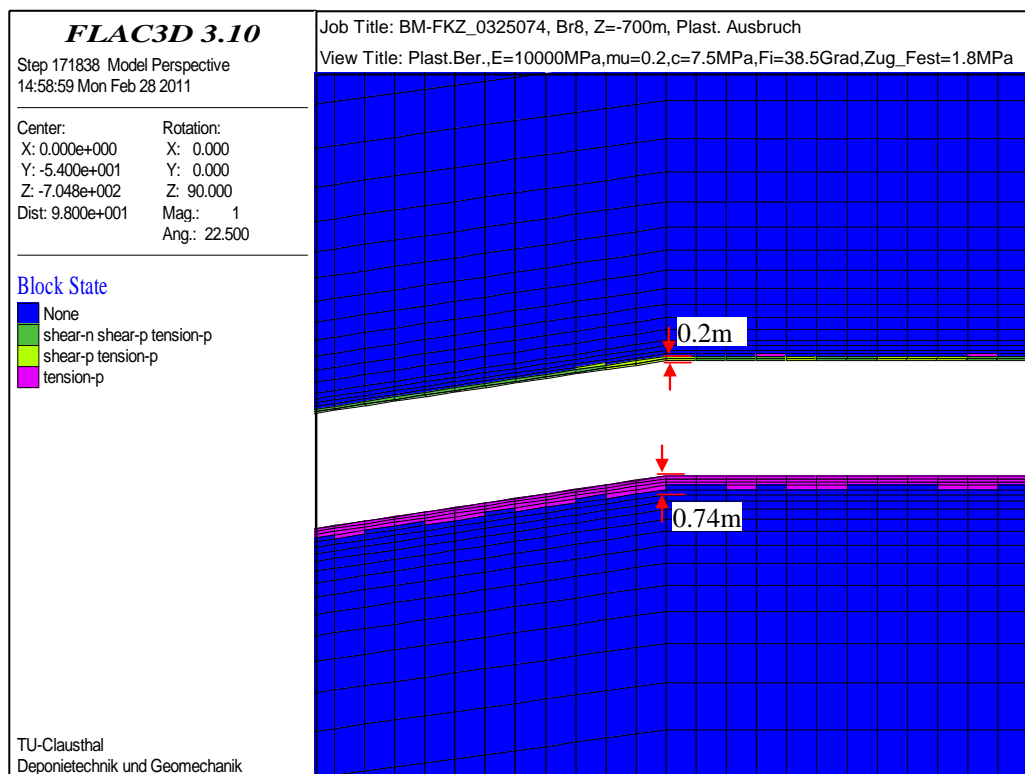
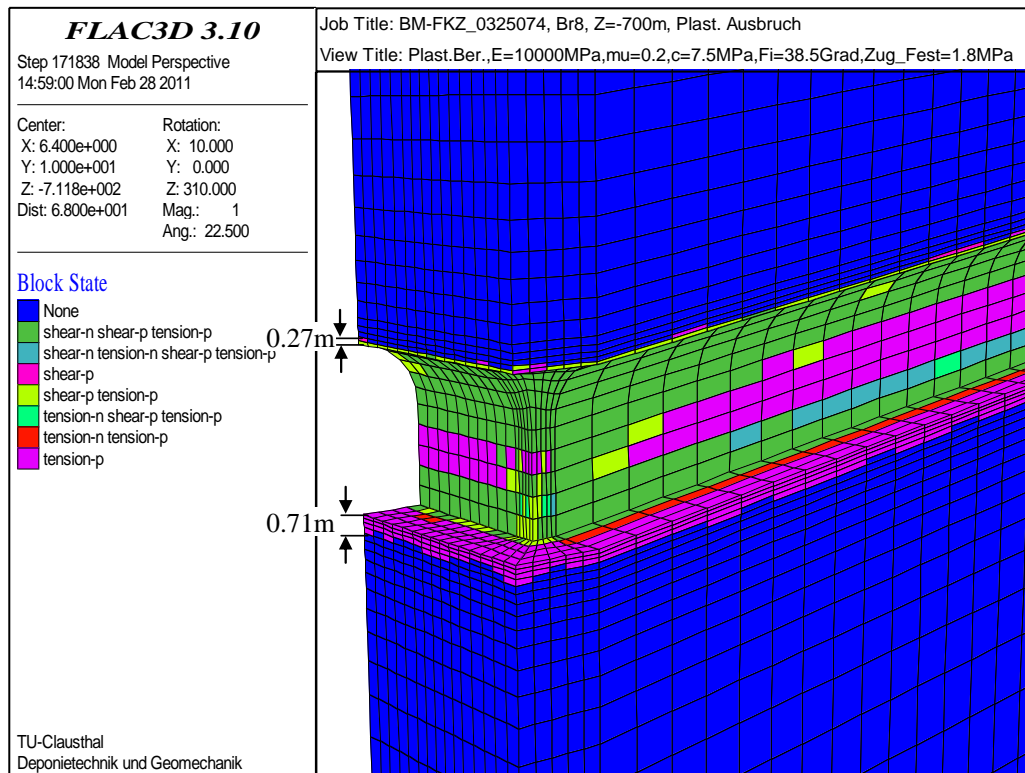


Bild 6.27: Flächenhafte Darstellung der plastischen Zonen – Berechnungslauf 8 –  $z = 700\text{m}$

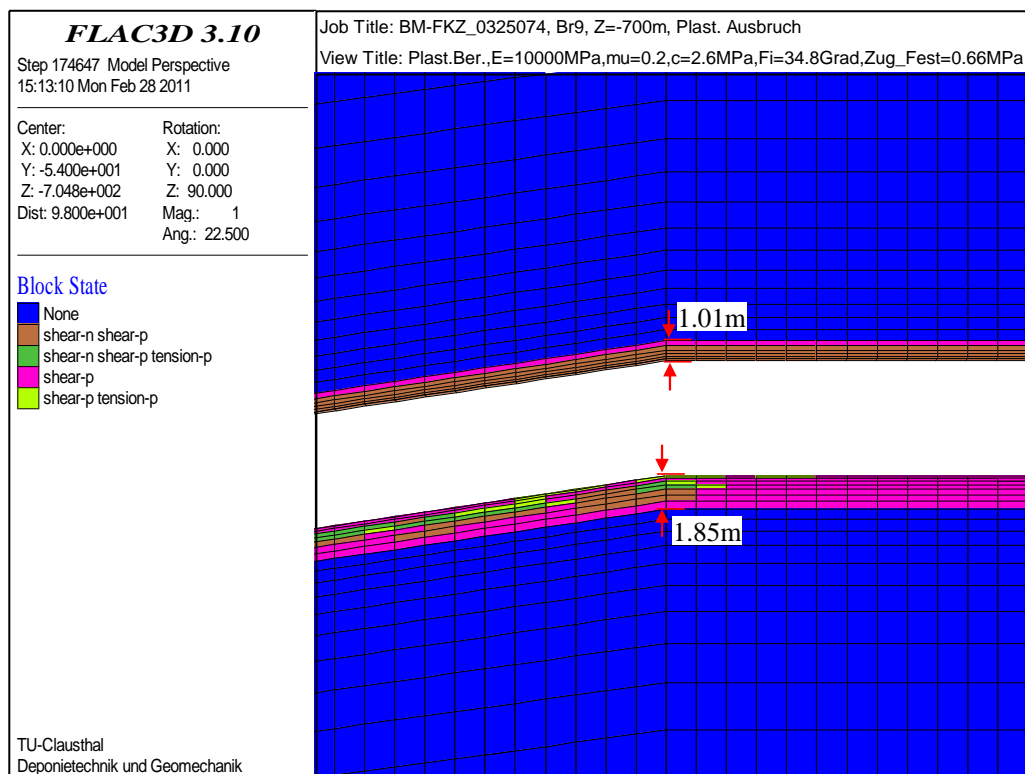
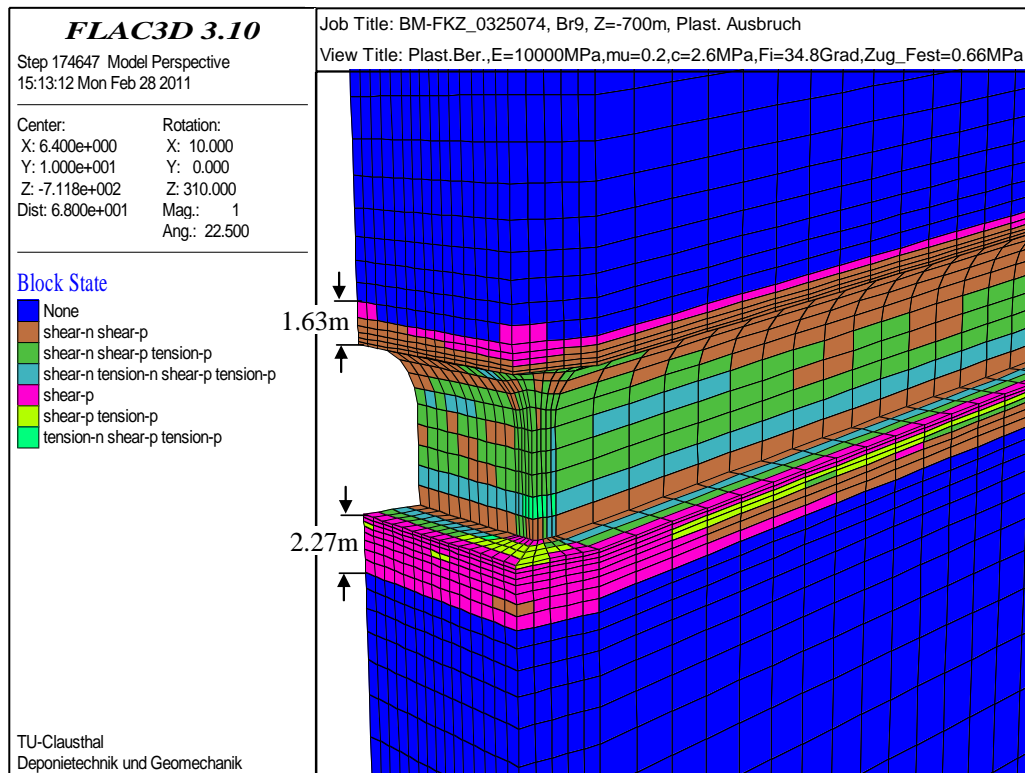


Bild 6.28: Flächenhafte Darstellung der plastischen Zonen – Berechnungslauf  
9 – z = 700m

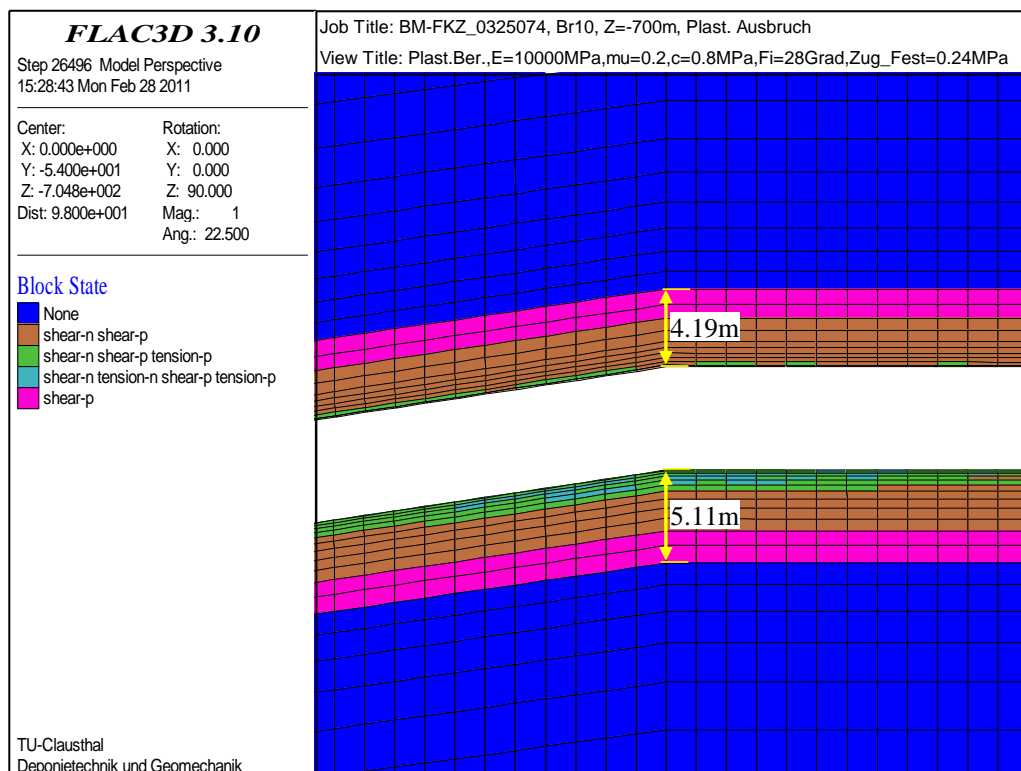
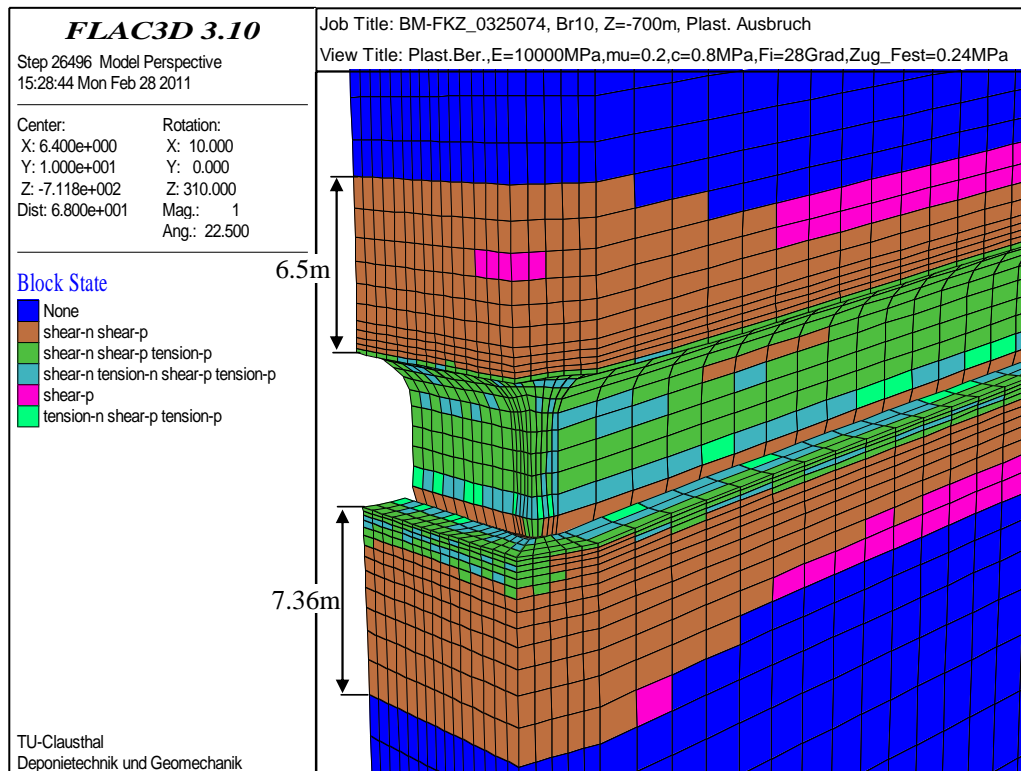


Bild 6.29:

Flächenhafte Darstellung der plastischen Zonen – Berechnungslauf  
10 – z = 700m



Um schließlich noch einen Eindruck von der Größe der bei Verzicht auf einen Unterstützungsbau resultierenden plastischen Verformungen zu dokumentieren, zeigen die nachfolgenden Bilder 6.30 bis 6.32 die im Rahmen der Berechnungsläufe 8, 9 und 10 ermittelten Gesamtverformungen. Sie sind charakterisiert durch Zahlenwerte von  $s = 1,9\text{cm}$  bei Ansatz eines im Niveau der Gesteinsbruchfestigkeit lokalisierten Gebirgstragvermögens,  $s = 5,6\text{cm}$  bei Ansatz eines im Niveau der Gesteinsrestfestigkeit lokalisierten Gebirgstragvermögens und  $s = 46\text{cm}$  bei Ansatz eines Tragvermögens im Niveau der Gebirgsfestigkeit.

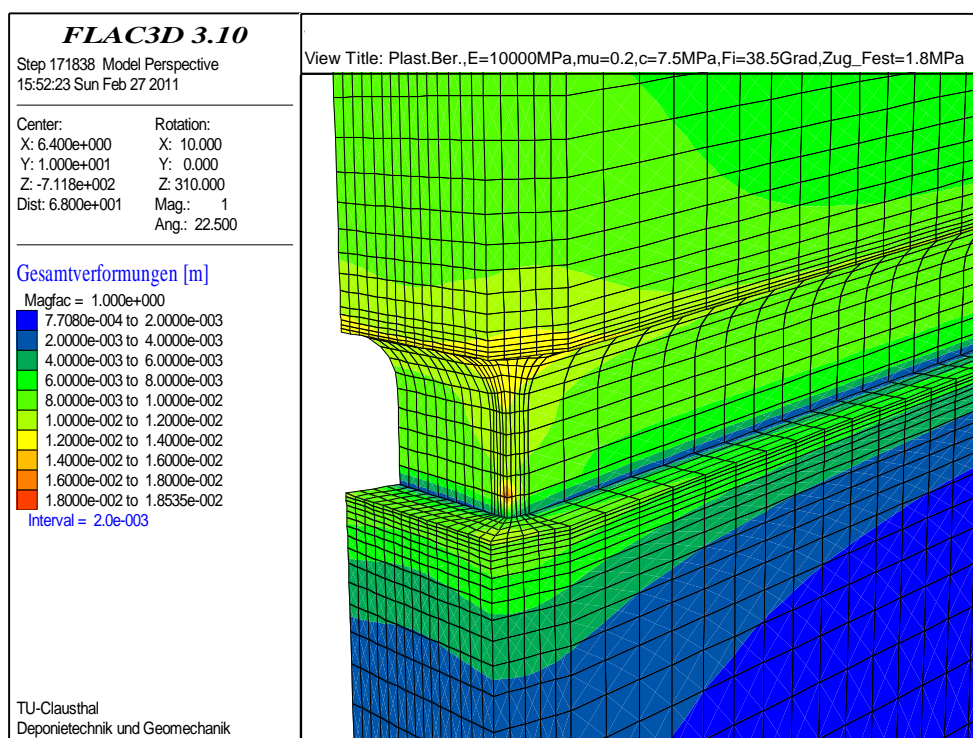


Bild 6.30: Flächenhafte Darstellung der Gesamtverformungen – Berechnungslauf 8 –  $z = 700\text{m}$



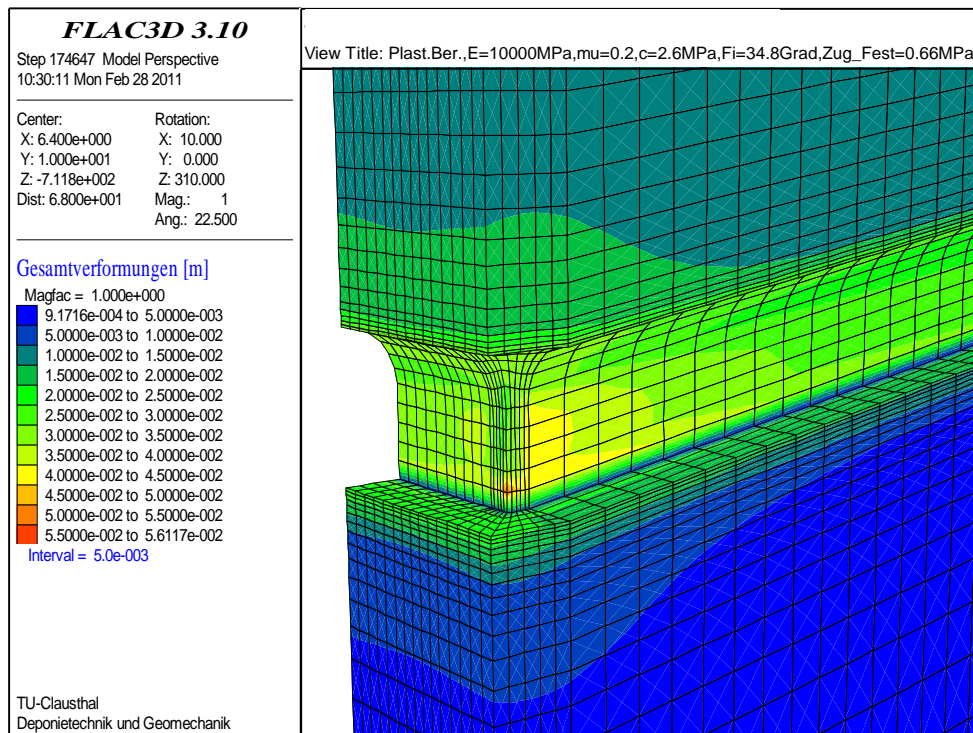


Bild 6.31: Flächenhafte Darstellung der Gesamtverformungen – Berechnungs-  
lauf 9 –  $z = 700\text{m}$

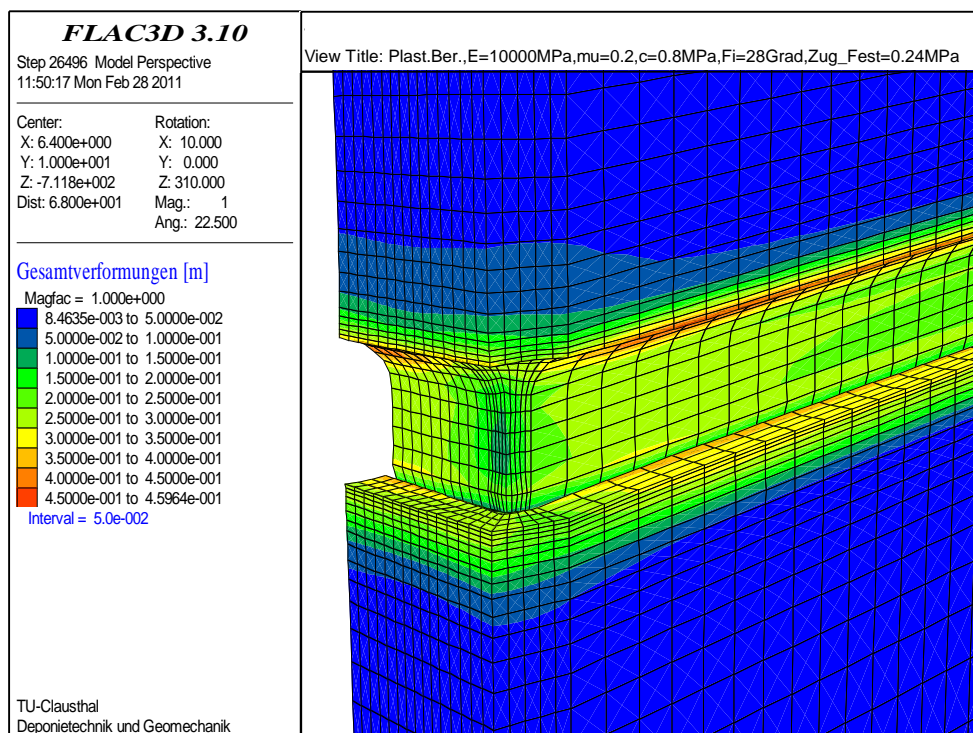


Bild 6.32: Flächenhafte Darstellung der Gesamtverformungen – Berechnungs-  
lauf 10 –  $z = 700\text{m}$

## **7. Zusammenfassung und Empfehlungen für das weitere Vorgehen**

Unter der übergeordneten Zielstellung die grundsätzliche Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes an den Referenzstandorten Bad Grund (Harz) und Pöhla – Tellerhäuser (Erzgebirge) aus geomechanischer Sicht zu beurteilen, sind im Rahmen der vorliegenden Studie zunächst die für die Referenzstandorte verfügbaren Daten mit geomechanischer Relevanz zusammengestellt worden. Dabei hat sich gezeigt, dass abgesehen von eher grundsätzlichen Beschreibungen zur strukturgeologischen Entwicklung, zur Genese der Erzlagerstätten und zur großräumigen Tektonik keine für eine quantitative Einschätzung des Spannungs-, Verformungs- und Festigkeitsverhaltens von Gestein und Gebirge erforderlichen Parameter für die Referenzstandorte verfügbar sind. Vielmehr beschränken sich die wenigen verfügbaren Informationen zum lokationsbezogenen Gebirgstragverhalten auf wenige bergbauhistorische Beschreibungen zur Dimension der aufgefahrenen Grubenbaue und zum eingesetzten Ausbau. Vor dem vorstehend skizzierten Hintergrund einer als defizitär zu charakterisierenden Datengrundlage wurde entschieden, auf die Analyse des Tragverhaltens großvolumiger Einzelhohlräume zugunsten einer eher konservativ angelegten Konfiguration eines Mehrfachstreckensystems für die Realisierung der erforderlichen Speicherhohlräume für Ober- und Unterbecken zu verzichten. Die Konfiguration des Mehrfachstreckensystems orientierte sich im Wesentlichen an der Zielstellung, das aus grundsätzlichen Erwägungen zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit des geplanten Pumpspeicherwerkes abgeleitete Speichervolumen von ca.  $320.000\text{m}^3$  durch Hohlraumstrukturen zu gewährleisten, die hinsichtlich Querschnittsgröße und räumlicher Nähe zueinander den aus der Bergbauhistorie belegten Erfahrungsbereich nicht bzw. nicht wesentlich überschreiten. Im Ergebnis vorstehender Überlegungen resultierte das im Rahmen der Projektstudie untersuchte System paralleler Speicherstrecken von 5m Breite und 7,5m Höhe. Um eine wechselseitige Beeinflussung der Speicherstrecken weitgehend zu minimieren wurde die Mächtigkeit der zwischen den Speicherstrecken verbleibenden Gebirgspfeiler mit einer Breite von 15m vorgegeben. Die einzelnen Speicherstrecken wurden zweiflügelig an eine mit dem Druckstollen verbundene Sammelstrecke gleicher Querschnittsgeometrie angeschlossen. Durch die vorstehend skizzierte Hohlraumkonfiguration ist das Tragverhalten der Speicherbecken des geplanten Pumpspeicherwerkes im Wesentlichen charakterisiert durch das Tragverhalten einer Einzelstrecke bzw. eines Kammer-Pfeiler-Systems.

Für eine erste Grobeinschätzung der grundsätzlichen Machbarkeit aus geomechanischer Sicht wurden rechnerische Untersuchungen zum Tragverhalten des Parallelstreckensystems auf der Grundlage empirischer und analytischer Berechnungsverfahren durchgeführt. Im Ergebnis der rechnerischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass keine Indikatoren vorliegen, die einer grundsätzlichen Machbarkeit des geplanten Projektes aus geomechanischer Sicht entgegenstehen.

Mit dem Ziel einer über die Möglichkeiten einfacher empirischer und analytischer Verfahren hinausgehenden Analyse des Tragverhaltens wurde schließlich ein numerisches Berechnungsmodell generiert. Gegenüber den empirischen und analytischen Berechnungen ermöglicht das numerische Berechnungsmodell insbesondere die Untersuchung des Gebirgstragverhaltens im Bereich der Streckenkreuze zwischen Speicher- und Sammelstrecken und die Berücksichtigung des tatsächlich dreidimensionalen Tragverhaltens. Aufbauend auf den in Kapitel 5 und 6 dokumentierten Befunden können als Ergebnisse der grundlegenden Untersuchungen zur geomechanischen Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes an den Referenzstandorten Bad Grund und Pöhla – Tellerhäuser zusammengestellt werden:

- (1) Die grundsätzliche Machbarkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes an den Referenzstandorten Bad Grund und Pöhla – Tellerhäuser kann ungeachtet der defizitären geomechanischen Datenbasis aus geomechanischer Sicht im Grundsatz positiv eingeschätzt werden.
- (2) Ungeachtet der nicht belegten Annahmen zu den Festigkeits- und Verformungseigenschaften des anstehenden Gebirges wird eingeschätzt, dass zur Gewährleistung hinreichend standsicherer Grubenbaue ein Unterstützungsausbaue erforderlich ist. Qualität und Umfang des erforderlichen Unterstützungsausbaus werden wesentlich bestimmt durch das standortbezogene Tragvermögen des anstehenden Gebirges.
- (3) Die im Rahmen der grundlegenden Planungen der Projektstudie gewählte Querschnittsgeometrie ist unter der Zielstellung einer weitgehenden Reduzierung zugbeanspruchter Gebirgsbereiche zu optimieren.
- (4) Die Auswertung der rechnerischen Befunde zum Tragverhalten der gewählten Hohlraumkonfiguration hat gezeigt, dass abhängig vom Tragvermögen des an den Referenzstandorten anstehenden Gebirges eine Variation der gewählten

Speicherbeckenkonfiguration hinsichtlich Streckenquerschnitt, Streckengeometrie und Streckenabstand unter der Zielstellung einer die maschinentechnischen, wirtschaftlichen und standortspezifischen Vorgaben berücksichtigenden verfeinerten Planung möglich und notwendig ist.

Als wissenschaftliche Defizite bzgl. einer hinreichend belegbaren Dimensionierung der Grubenbaue sind aus geomechanischer Sicht zu nennen:

- (1) In Ermangelung vorliegender Untersuchungen zu den mechanischen hydraulischen und thermischen Eigenschaften des Gebirges basieren die im Rahmen der Projektstudie durchgeführten rechnerischen Untersuchungen wie auch die Einschätzungen zum Tragvermögen auf nicht belegten Annahmen zu den Festigkeits- und Verformungseigenschaften des anstehenden Gebirges. Unabdingbare Voraussetzung für weitergehende Planungen zur Realisierung des Projektes sind vor diesem Hintergrund Labor- und Felduntersuchungen zum Festigkeits- und Verformungsverhalten von Gestein und Gebirge, zum Primärspannungszustand und zur Erkundung der lokationsbezogenen geologischen Ausbildung des Gebirges.
- (2) Aufbauend auf den unter (1) erarbeiteten Erkenntnissen zum geologischen Bau, zum mechanischen, hydraulischen und thermischen Materialverhalten von Gestein und Gebirge sind zunächst umfangreiche Sensitivitätsanalysen unter der Zielstellung durchzuführen, den Einfluss des natürlichen Streubreitenbandes einzelner Materialkennwerte auf das Tragverhalten zu quantifizieren. Darauf aufbauend ist die Querschnittsgeometrie einzelner Grubenbaue des Pumpspeicherwerkes unter Berücksichtigung von Größe und Orientierung der primären Spannungen und des lokationsspezifischen Gebirgsbaus im Sinne einer die Abtragung der Gebirgslasten optimal gewährleistenden Formgebung zu variieren. Schließlich ist für variierte Ausbauqualitäten und variierte Hohlraumkonfigurationen das Verbundsystem „Grubenraum-Ausbau-Gebirge“ unter Beachtung wirtschaftlicher, technischer und geologischer standortbezogener Zwangs- und Randbedingungen bezüglich seines Tragverhaltens zu analysieren und hinsichtlich seiner Standsicherheit zu bewerten.

## 8. Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

- /1/ Bieniawski, Z.T. (1984): Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling, A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, Boston.
- /2/ Biniawski, Z. T. (1989): Engineering Rock Mass Classification, John Wiley, New York.
- /3/ Barton, N. et.al. (1974): Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics, Vol. (6), S. 189-236.
- /4/ Hoek, E.; Brown, E. T. (1980): Underground Excavations in Rock, Stephen Austin and Sons Ltd., London.
- /5/ Grimstad, E.; Barton, N. (1993): Updating of the Q-System for NMT, Proc. Int. Symp. On Sprayed Concrete, Fagernes.
- /6/ Hrsg. Steinkohlenbergbauverein (1986): Gebirgsmechanische und ausbautechnische Entscheidungshilfen: Planung von Gesteinsstrecken, Verlag Glückauf GmbH, Essen.
- /7/ Brady, H.; Brown, E.T. (1985): Rock Mechanics for Underground Mining, George, Allen & Unwin, London.
- /8/ Slotta, R. et. Al. (1987): Blei- und Zinkerzbergbau im Harz – Bad Grund, Doris Bode Verlag, Haltern.
- /9/ Sperling, H. (1973): Die Erzgänge des Erzbergwerks Grund (Silbernaaler Gangzug, Bergwerksglucker Gang und Laubhütter Gang), In: Geologisches Jahrbuch, Reihe D, Heft 2, Die Blei-Zink-Erzgänge des Oberharzes.
- /10/ Düsterloh, U.; Lux, K.-H. (1993): Ein- und triaxiale Kompressionsversuche an Karbongesteinen, Laborbericht, Institut für Bergbau, Abt. Geomechanik in Bergbau, Tunnelbau und Deponietechnik, unveröffentlicht.
- /11/ Lama, R. D.; Vutukuri, V.S. (1978): Mechanical properties of rocks, Vol. II, Trans Tech Publications, Clausthal.
- /12/ Biniawski, Z. T. (1976): Rock mass classification in rock engineering – Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg.

- /13/ Biewald, W. (2002): Das Pumpspeicherwerk Goldisthal – ein Überblick unter ingenieurgeologischen Aspekten, 6. Fachkolloquium der JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH, Jena.
- /14/ Wismut GmbH (2006): Chronik der Wismut, Chemnitz 1999, Ausgabe 2006.
- /15/ Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der TU Clausthal, 3D-Modellierung der untertägigen Situation am Referenzstandort Bad Grund, Dez. 2010.



*W. Busch, O. Langefeld, W. Lampe, J. Gorczyk, N. Jarrah, S. Mahr, F. Xi*

## ***Markscheiderische und bergmännische und Aspekte***



*Foto: EFZN / M. Schmidt*



# **Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke**

**Berichtsteil: Institut für Bergbau (IBB)**

**Version 1**

**Goslar, 31. März 2011**

Technische Universität Clausthal

Institut für Bergbau

Erzstr. 20

38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: +49 5323 72 3180

Telefax: +49 5323 72 2377

<http://www.bergbau.tu-clausthal.de>

**Wissenschaftliche Leitung des Berichtsteils**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld

Institut für Bergbau, TU Clausthal

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Busch

Institut für Geotechnik und Markscheidewesen, TU Clausthal

**Bearbeiter**

M.Sc. Niussha Jarrah

Institut für Bergbau, TU Clausthal

Dipl.-Ing. Sebastian Mahr

Institut für Bergbau, TU Clausthal

Dipl.-Ing. Julita Gorczyk

Institut für Geotechnik und Markscheidewesen, TU Clausthal

M.Sc. Furui Xi

Institut für Geotechnik und Markscheidewesen, TU Clausthal

Dr.-Ing. Wolfgang Lampe

Das Niedersächsische Bergarchiv Clausthal, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

**Ansprechpartner bei Rückfragen**

M.Sc. Niussha Jarrah

Institut für Bergbau, TU Clausthal

Telefon: +49 5323 72 5042

Telefax: +49 5323 24 2377

Email: [niussha.jarrah@tu-clausthal.de](mailto:niussha.jarrah@tu-clausthal.de)

Dipl.-Ing. Julita Gorczyk

Institut für Geotechnik und Markscheidewesen, TU Clausthal

Telefon: +49 5323 72 2874

Telefax: +49 5323 72 2479

Email: [julita.gorczyk@tu-clausthal.de](mailto:julita.gorczyk@tu-clausthal.de)

## **Kurzfassung:**

Der erste Teil der Arbeit hat ergeben, dass große Potentiale zur Nachnutzung stillgelegter Bergwerke in Form eines Pumpspeicherwerks unter Tage in Deutschland in denjenigen Regionen gegeben sind, in denen historisch betrachtet Erzbergbau betrieben wurde. In diesen Regionen hat sich herausgestellt, dass aufgrund der vorgefundenen Geologie und aufgrund der verwendeten Abbauverfahren ein prinzipielles Potential vorhanden ist. Das Alter der Bergwerke und damit verbunden die Größe der Strecken und vor allem auch der Schächte ist für eine potentielle Errichtung eines PSWuT entscheidend. Durch eine Neuauffahrung der Speicherbecken im unverritzten, also durch Abbaueinflüsse unberührten, Gebirge ist ein entsprechend großes Speichervolumen zu schaffen.

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse in dem ersten Arbeitsteil wurden zwei Pilotbergwerke im Harz (Erzbergwerk Grund) und im Erzgebirge (Erzbergwerk Pöhla) ausgewählt. Für jedes Bergwerk wurden anhand der zahlreich vorhandenen Risswerke zwei 3-D Modelle in ArcGis und Vulcan erstellt. Auf Grundlage der ArcGis Modelle wurden die geografischen Grenzen wie Schutzgebiete, alte Abbaugelände sowie Störungszonen und deren Abstand zu den potenziellen PSWuT-Komponenten untersucht. Dabei wurde die grobe Lage dieser Komponenten bestimmt. Anhand der Software Vulcan wurde das Bergwerk konstruiert und ein detailliertes PSWuT-Konzept durchgeplant. Anschließend wurden die Lage und das Volumen der neu aufzufahrenen Hohlräume bestimmt. Dabei fanden das Bewetterungs- sowie Fluchtkonzept eine besondere Berücksichtigung. Die einzelnen Arbeitsschritte für die Herstellung der Hohlräume wurden bestimmt. Anschließend wurde das Fließverhalten des Wassers in den Speicherbecken anhand der Software ANSYS simuliert.

In dem Modellbergwerk Grund wird bei der Vier-Stunden Variante eine mittlere Fallhöhe von 700 m und 307.800 m<sup>3</sup> Speichervolumen erzielt, wovon nur ca. 242.000 m<sup>3</sup> nutzbar sind. In der Zwei-Stunden Variante wird ein Speichervolumen von 157.500 m<sup>3</sup> erzielt.

In Pöhla wird eine mittlere Fallhöhe von 600 m erzielt. Für die Speicherbecken müssen Hohlräume mit einem Gesamtvolumen von 345.000 m<sup>3</sup> aufgefahren werden, wobei nur 307.000 m<sup>3</sup> davon als nutzbares Volumen bezeichnet werden kann. In der Zwei-Stunden Variante wird ein Speichervolumen von 172.500 m<sup>3</sup> erzielt.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Nutzung übertägiger Teiche und Seen als Oberbecken oder die Neuanlage eines Oberbeckens über Tage als sog. Hybrid-Lösung. Dadurch verringert sich nicht nur der Auffahrungsaufwand unter Tage, sondern erhöht sich auch durch Vergrößerung der möglichen Fallhöhe die nutzbare Speicherkapazität des Pumpspeicherwerkes. Ebenso wäre es möglich, ein untertägliches Pumpspeicherwerk nicht nur durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke, sondern ebenfalls durch eine komplette Neuauffahrung zu errichten. Bei einer kompletten Neuauffahrung der Hohlräume kann das Pumpspeicherwerk entsprechend den Erfordernissen angepasst werden sowie ebenfalls der Standort als solches in Grenzen frei gewählt werden.

## **Über die Autoren**

### **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld**

Wissenschaftliche Laufbahn

Leiter der Abteilung für Maschinelle Betriebsmittel und Verfahren im Bergbau unter Tage und Vizepräsident für Studium und Lehre an der TU Clausthal.

Professor Langefeld studierte an der TU Clausthal von 1979 - 1985 Bergbau und begann im Jahr 1985 seinen Berufsweg bei der Ruhrkohle AG. Er wurde im Jahr 1996 an der Rheinisch-Westfälisch Technischen Hochschule Aachen (RWTH) zum Dr.-Ing. promoviert. 2001 erhielt er einen Ruf an die TU Clausthal.

### **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Busch**

Geschäftsführender Leiter des Instituts für Geotechnik und Markscheidewesen und Leiter der Abteilung für Markscheidewesen und Geoinformation an der TU Clausthal.

Nach dem Studium der Geodäsie von 1967 – 1972 an der Universität Bonn und einer anschließenden Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent am Geodätischen Institut der RWTH Aachen promovierte Prof. Busch 1981 zum Dr.-Ing. ebendort. Von 1981-1986 war er Wiss. Angestellter am Institut für Markscheidewesen der RWTH Aachen, bevor er von 1986 – 1992 als stellvertr. Leiter einer Abteilung für Photogrammetrie der Ruhrkohle AG tätig war. Seit 1992 ist er Professor für Markscheidewesen an der TU Clausthal mit den Forschungsschwerpunkten Geoinformatik, Fernerkundung, Ausgleichungsrechnung und geodätisch-markscheiderische Messtechnik sowie altbergbauliche Risikobewertung.

### **M.Sc. Niusha Jarrah**

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Bergbau, Abteilung für Maschinelle Betriebsmittel und Verfahren im Bergbau unter Tage, an der TU Clausthal.

Fr. Jarrah studierte an der Polytechnischen Hochschule in Teheran von 1998-2004 Bergbau und begann im Jahr 2004 ihren Berufsweg in einer Beratungsfirma im Bereich Tunnelbau in Teheran. Nach der Einwanderung nach Deutschland begann sie das Studium an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule in Aachen (RWTH) von 2005 bis 2009 in der Fachrichtung Rohstoffingenieurwesen. Seit November 2009 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung für Maschinelle Betriebsmittel und Verfahren im Bergbau unter Tage am Institut für Bergbau an der TU Clausthal.

**Dipl.-Ing. Sebastian Mahr**

Herr Mahr hat im Wintersemester 1999/00 an der TU-Clausthal für ein Chemiestudium eingeschrieben, dieses jedoch abgebrochen und auf den Studiengang „Geotechnik, Bergbau, Erdöl-und Erdgastechnik“ mit dem Schwerpunkt „Gewinnungsbergbau“ gewechselt. 2009 den Abschluss als Dipl.-Ing erhalten. Von November 2009 bis November 2010 beschäftigt als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr.-Ing Oliver Langefeld an der TU-Clausthal. Im Anschluss kurze Beschäftigung bei der ASSE-GmbH in Remlingen in der Wetterabteilung. Seit März 2011 beschäftigt bei der Bergsicherung Ilfeld GmbH.

**Dipl.-Ing. Julita Gorczyk**

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Geotechnik und Markscheidewesen an der TU Clausthal.

Fr. Gorczyk studierte von 1995-2001 Geodäsie und Kartographie an der Berg- und Hütten Akademie (AGH) in Krakau. Während des Studiums hat sie zwei Auslandssemester am Institut für Geotechnik und Markscheidewesen an der TU Clausthal als ERASMUS- Stipendiatin absolviert und ihre Diplomarbeit ebendort geschrieben. Seit dem Jahre 2003 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Geotechnik und Markscheidewesen mit den Forschungsschwerpunkten Geoinformation und altbergbauliche Risikobewertung.

**M.Sc. Furui Xi**

Institut für Geotechnik und Markscheidewesen, TU Clausthal. Von 2003-2005 studierte Hr. Xi Geoenvironmental Engineering an der Sichuan Universität in China. Von 2005 bis 2010 hat er sein Studium an der TU Clausthal im Rahmen des Deutsch-Chinesischen Studentenaustauschprogrammes fortgesetzt. Seit 09.2010 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der TU Clausthal (Abteilung Markscheidewesen und Geoinformation).

**Dr.-Ing. Wolfgang Lampe**

Dr.-Ing. Wolfgang Lampe hat von 1972 bis 1979 sein Bergbaustudium an der TU Clausthal mit zahlreichen Praktika im Steinkohle-, Kali-, Braunkohle- und Erzbergbau absolviert. Von 1979 bis 1981 hat er Referendarausbildung beim Oberbergamt in Clausthal-Zellerfeld mit Stationen der praktischen Ausbildung im Steinkohle- und Erzbergbau ge-

macht. Seit 1981 arbeitet er als Bergbeamter bei der niedersächsischen Bergverwaltung. 1981-93 als Dezernatsleiter beim Bergamt Goslar mit Aufgabenschwerpunkten im Erz- und Braunkohlebergbau sowie bei der Sole- und Sandgewinnung gearbeitet. 1993 wurde er zum Oberbergamt in Clausthal mit Aufgabenschwerpunkt in der Schachtförderung und im Maschinenwesen versetzt. Seit 1999 Aufbau und Betreuung des Niedersächsischen Bergarchivs in Clausthal. 2010 hat er an der TU Clausthal Promoviert.



## Inhaltsverzeichnis

<b>KURZFASSUNG:</b> .....	<b>154</b>
<b>ÜBER DIE AUTOREN</b> .....	<b>156</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>159</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>164</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>166</b>
<b>1. EINFÜHRUNG IN DIE BERGBAULICHE ASPEKTE</b> .....	<b>167</b>
<b>2. VORTEILE DURCH NACHNUTZUNG STILLGELEGTER BERGWERKE ALS PSW</b> .....	<b>167</b>
<b>3. EINSCHRÄNKUNGEN BEI DER NACHNUTZUNG STILLGELEGTER BERGWERKE ALS PSW</b> .....	<b>168</b>
<b>4. KRITERIEN</b> .....	<b>169</b>
4.1 Region.....	169
4.2 Lagerstätte .....	170
4.3 Bergwerk /6/,/7/.....	171
<b>5. BEWERTUNG DER BERGBAUSPARTEN</b> .....	<b>172</b>
5.1 Erzbergbau /9/,/10/,/14/.....	172
5.2 Salzbergbau /8/,/9/,/12/ .....	173
5.3 Spatbergbau.....	174
5.4 Kohlebergbau .....	175

5.5 Weiterer Bergbau .....	176
<b>6. BEWERTUNG DER BERGBAUREGIONEN .....</b>	<b>177</b>
<b>7. SUCHE NACH GEEIGNETEN BERGWERKEN .....</b>	<b>180</b>
7.1 Einführung .....	180
7.2 Bergwerke im Harz.....	181
7.3 Bergwerke im Siegerland und Lahn-Dill Gebiet.....	183
7.4 Bergwerke im Erzgebirge .....	186
<b>8. MODELLIERUNG DER UNTER- UND ÜBERTÄGIGEN SITUATION.....</b>	<b>190</b>
<b>9. DAS MODELBERGWERK GRUND.....</b>	<b>191</b>
9.1 Allgemein .....	191
9.2 Situationsbeschreibung.....	191
9.2.1 Halde.....	193
9.2.1 Verwahrung .....	193
9.2.2 Abbau.....	194
9.2.3 Grubengebäude .....	194
9.3 Modellierung mit ArcGis.....	196
9.4 Planung mit Vulcan .....	197
9.4.1 Einführung .....	197
9.4.2 PSWuT- Konzept: Vier -Stunden -Betrieb .....	197
9.4.3 PSWuT- Konzept: Zwei -Stunden -Betrieb .....	203
9.5 Bergbauliche Maßnahmen während der Bauphase .....	204
9.5.1 Öffnen des Bergwerks.....	204
9.5.2 Trockenlegung des Bergwerks .....	204
9.5.3 Verwahrung .....	205
9.5.4 Auffahrung.....	205

9.5.5 Schachtabteufen .....	205
9.5.6 Fördertechnik und Logistik- Oberbecken.....	206
9.5.7 Fördertechnik und Logistik- Unterbecken .....	212
9.5.8 Maschinenkaverne .....	212
9.5.9 Materialtransport .....	213
9.5.10 Bewetterung und Klimatisierung.....	213
9.5.11 Betriebswasser des PSWuT.....	216
<b>9.6 Bergbauliche Maßnahmen während der Betriebsphase des PSWuT.....</b>	<b>217</b>
9.6.1 Bewetterung .....	217
9.6.2 Trockenlegung des Bergwerks .....	220
9.6.3 Mannschaftstransport bei Revisionen .....	220
9.6.4 Materialtransport bei Revisionen .....	220
9.6.5 Fluchtkonzept .....	220
9.6.6 Kabelführung von der Maschinenkaverne nach über Tage .....	220
<b>9.7 Strömungssimulation.....</b>	<b>221</b>
<b>9.8 Prinzip- Darstellung .....</b>	<b>224</b>
<b>9.9 Rückbau .....</b>	<b>225</b>
<b>9.10 Fazit .....</b>	<b>225</b>
<b>10. DAS MODELBERGWERK PÖHLA.....</b>	<b>227</b>
<b>10.1 Situationsbeschreibung.....</b>	<b>227</b>
10.1.1 Verwahrung der Grube Pöhla .....	229
10.1.2 Abbau.....	230
10.1.3 Grubengebäude .....	230
<b>10.2 Besonderheiten .....</b>	<b>234</b>
10.2.1 Zinnlagerstätte.....	234
10.2.2 Kein durchgehender Tagesschacht .....	234
10.2.3 Besucherbergwerk .....	234
<b>10.3 Modellierung mit ArcGis.....</b>	<b>235</b>
<b>10.4 Planung mit Vulcan .....</b>	<b>235</b>

10.4.1 PSWuT-Konzept: Vier- Stunden- Betrieb .....	235
10.4.2 PSWuT-Konzept: Zwei-Stunden-Betrieb .....	240
<b>10.5 Bergbauliche Maßnahmen während der Bauphase .....</b>	<b>241</b>
10.5.1 Trockenlegung des Bergwerks .....	241
10.5.2 Öffnen des Bergwerks.....	241
10.5.3 Auffahrung.....	242
10.5.4 Schachtabteufen .....	242
10.5.5 Fördertechnik und Logistik- Oberbecken .....	242
10.5.6 Fördertechnik und Logistik- Unterbecken .....	248
10.5.7 Maschinenkaverne .....	249
10.5.8 Bewetterung und Klimatisierung.....	250
10.5.9 Betriebswasser des PSWuT.....	255
<b>10.6 Bergbauliche Maßnahmen während der Betriebsphase des PSWuT .....</b>	<b>255</b>
10.6.1 Bewetterung und Klimatisierung.....	255
10.6.2 Trockenlegung des Bergwerks .....	259
10.6.3 Mannschaftstransport bei Revisionen .....	260
10.6.4 Materialtransport bei Revisionen .....	260
10.6.5 Fluchtkonzept .....	260
10.6.6 Kabelführung .....	261
<b>10.7 Rückbau.....</b>	<b>262</b>
<b>10.8 Prinzip -Darstellung .....</b>	<b>262</b>
<b>10.9 Fazit .....</b>	<b>262</b>
<b>11. AUSBLICK.....</b>	<b>264</b>
<b>12. LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>266</b>
12.1 Allgemeine Fachliteratur.....	266
12.2 Spezifische Quellenangaben .....	266
<b>13. NETZANBINDUNG .....</b>	<b>268</b>

<b>13.1 Grundsätze der Trassenplanung</b>	268
<b>13.2 Modellbergwerk Bad Grund</b>	269
13.2.1 Randbedingungen für die Planung	269
13.2.2 Variante 1 – Teilverkabelung	270
13.2.3 Variante 2- Erdkabel	272
13.2.4 Vergleich der Varianten	273
<b>13.3 Modellbergwerk Pöhla</b>	273
13.3.1 Randbedingungen für die Planung	273
13.3.2 Variante 1- eine kombinierte Kabel-/Freileitungstrasse	275
<b>13.4 Fazit</b>	276
13.5 Literaturangaben zu Netzanbindung:	276

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6-1: Bergbauregionen in Deutschland und ihre Eignung für die Errichtung von untertägigen Pumpspeicherwerken.....	179
Abbildung 9-1: Lage des Wiemannsbuchtschachtes und der Zuwegung .....	191
Abbildung 9-2: Stark überhöhter schematischer Seigerriss des Erzbergwerks Grund (Schnitt durch das Grubengebäude längs des Hauptganges)/11/.....	192
Abbildung 9-3: Ehemaliges Betriebsgelände Wiemannsbuchtschacht mit Fördermaschinenhaus (links) sowie Schachtgerüst und Schachthalle mit Sozialtrakt (Mitte) .....	192
Abbildung 9-4: Übertägige Situation in Bad Grund /24/ .....	193
Abbildung 9-5: Lage der Halde .....	193
Abbildung 9-6: Schematische Darstellung des Wiemannsbuchtschachtes unter Tage ...	195
Abbildung 9-7: Das Grubengebäude Bergwerkswohlfahrt des Erzbergwerks Grund mit den Erzgängen und Störungszonen .....	196
Abbildung 9-8: Digitales Oberflächenmodell (DOM) Bad Grund .....	197
Abbildung 9-9: Grundriss des PSWuT .....	198
Abbildung 9-10: Geometrie der Becken .....	199
Abbildung 9-11: Raumbild des Oberbeckens- Erzbergwerk Grund.....	200
Abbildung 9-12: Raumbild des Unterbeckens- Erzbergwerk Grund .....	200
Abbildung 9-13: Raumbild des Zugangs zum Unterbecken- Erzbergwerk Grund .....	201
Abbildung 9-14: Maschinen- Trafokaverne - Draufsicht .....	201
Abbildung 9-15: Zugänge zu der Maschinen- Trafokaverne .....	202
Abbildung 9-16: Druckschächte im Modellbergwerk Grund .....	203
Abbildung 9-17: PSWuT- Konzept: Zwei-Stunden-Betrieb .....	204
Abbildung 9-18: Darstellung der Auffahrung im Oberbecken.....	207
Abbildung 9-19: Darstellung des Bohrprozesses und der Abförderung des Haufwerks im Oberbecken .....	211
Abbildung 9-20: Simulation des Wetterstroms in der Maschinen- Trafokaverne .....	216
Abbildung 9-21: Bewetterungskonzept im Modellbergwerk Grund.....	218
Abbildung 9-22: Wetterbohrlöcher in dem Speicherbecken .....	219
Abbildung 9-23: Strömungssimulation bei einer vereinfachten Geometrie des Speicherbeckens.....	222
Abbildung 9-24: Ausgewählte Schnitte des Speicherbeckens .....	223

Abbildung 9-25: Fließgeschwindigkeit in der Sammelstrecke .....	224
Abbildung 9-26: Schematische Darstellung des PSWuT -Konzeptes .....	225
Abbildung 10-1: Lage der Halden der Lagerstätte Pöhla- Tellerhäuser./19/ .....	228
Abbildung 10-2: Lage der Luchsbach- und Schildbachhalde.....	228
Abbildung 10-3: Schutzgebiete der Lagerstätte Pöhla- Tellerhäuser.....	229
Abbildung 10-4: Raumbild der Lagerstätte Pöhla /19/.....	232
Abbildung 10-5: Bilanz- und potenziell-prognostische Zinnvorräte.....	234
Abbildung 10-6: Das Grubengebäude Pöhla mit den Bilanzvorräten (braun) und prognostischen Erzvorräten (lila) .....	235
Abbildung 10-7: Grundriss des PSWuT- Bergwerk Pöhla.....	236
Abbildung 10-8: Geometrie der Speicherbecken – Bergwerk Pöhla.....	237
Abbildung 10-9: Raumbild des Oberbeckens – Bergwerk Pöhla.....	238
Abbildung 10-10: Raumbild des Unterbeckens – Bergwerk Pöhla .....	238
Abbildung 10-11: Raumbild des Unterbeckens – Bergwerk Pöhla .....	239
Abbildung 10-12: Zugänge zu der Maschinen- Trafokaverne – Bergwerk Pöhla .....	239
Abbildung 10-13: Druckschächte in Pöhla .....	240
Abbildung 10-14: PSWuT- Konzept bei einem Zwei- Stunden-Betrieb.....	241
Abbildung 10-15: Darstellung der Auffahrung im Oberbecken.....	243
Abbildung 10-16: Darstellung des Bohrprozesses und der Abförderung des Haufwerks im Oberbecken .....	248
Abbildung 10-17: Simulation des Wetterstroms in der Maschinen- Trafokaverne .....	255
Abbildung 10-18: Bewetterungskonzept des Erzbergwerks Pöhla während der Betriebsphase .....	257
Abbildung 10-19: Wetterbohrlöcher in dem Speicherbecken .....	259
Abbildung 10-20: Kabelführung in Pöhla .....	261
Abbildung 10-21: Schematische Darstellung des PSWuT- Bergwerk Pöhla.....	262
Abbildung 13-1: Planungskorridor Bad Grund - Münchenhof.....	270
Abbildung 13-2: Trassenverlauf der Teilverkabelungsvariante .....	271
Abbildung 13-3: Trassenverlauf der Variante 2.....	272
Abbildung 13-4: Planungskorridor Zweibach-Crottendorf, Zweibach-Rittersgrün und Zweibach- Zwönitz.....	274
Abbildung 13-5: Trassenverlauf der Teilverkabelungsvariante .....	275



## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 6-1: Bergbauregionen in Deutschland.....	180
Tabelle 9-1: Charakteristische Daten des Wiemannsbuchtschachtes .....	195
Tabelle 9-2: Maschinenkette für die Auffahrung der Strecken im Oberbecken (Variante 1) .....	207
Tabelle 9-3: Maschinenkette für die Auffahrung der Strecken im Oberbecken (Variante 2) .....	212
Tabelle 9-4: Maschinenkette für die Auffahrung der Strecken im Unterbecken.....	212
Tabelle 9-5: Wetterbedarf nach einzelnen Kategorien für das Oberbecken (Variante 1). 215	
Tabelle 9-6: Wetterbedarf nach einzelnen Kategorien für das Oberbecken (Variante 2). 215	
Tabelle 9-7: Wetterbedarf nach einzelnen Kategorien für Unterbecken .....	216
Tabelle 9-8: Wetterbedarf während der Betriebsphase .....	217
Tabelle 9-9: Bilanz und Funktion der Wettergrubenbaue.....	217
Tabelle 9-10: Legende von Abbildung 9-21.....	218
Tabelle 9-11: Zusammenfassung des Bewetterungskonzeptes des PSWuT im Erzbergwerk Grund.....	219
Tabelle 10-1: Grubengebäude der Lagerstätte Pöhla.....	233
Tabelle 10-2: Die Maschinenkette zur Auffahrung der Strecken im Oberbecken .....	244
Tabelle 10-3: Die Maschinenkette zur Auffahrung der Strecken im Oberbecken .....	248
Tabelle 10-4: Maschinenkette- Unterbecken .....	249
Tabelle 10-5: Wetterbedarf nach einzelner Kategorien für Oberbecken Variante 1 .....	253
Tabelle 10-6: Wetterbedarf nach einzelner Kategorien für Oberbecken.....	253
Tabelle 10-7: Wetterbedarf nach einzelnen Kategorien für Unterbecken .....	254
Tabelle 10-8: Wetterbedarf während der Betriebsphase .....	256
Tabelle 10-9: Bilanz und Funktion der Wettergrubenbaue.....	256
Tabelle 10-10: Legende der Abbildung 10-18.....	257
Tabelle 10-11: Zusammenfassung des Bewetterungskonzept des PSWuT im Erzbergwerk Pöhla .....	258
Tabelle 13-1: Abschnittslängen und ihre technische Ausführung .....	271
Tabelle 13-2: Abschnittslängen und ihre technische Ausführung .....	273
Tabelle 13-3: Abschnittslängen und ihre technische Ausführung .....	276

## **1. Einführung in die bergbauliche Aspekte**

Die Zwischenspeicherung von Windenergie ist durch den Bau von untertägigen Pumpspeicherwerken (PSW) im Bereich stillgelegter Bergwerke möglich. Hierbei sollte angestrebt werden, dass sich beide Speicherbecken und die Kraftwerksanlage mit den Turbinen und Pumpen komplett unter Tage befinden und so eine übertägige Flächeninanspruchnahme auf ein Minimum reduziert wird. Stillgelegte Bergwerke mit noch offenen bzw. teilverfüllten Schächten bieten sich für die Errichtung eines PSW an, da aufgrund der Tiefe der Schächte eine große Fallhöhe gegeben ist. Diese Fallhöhe könnte nur in Gebirgs- oder Hochgebirgsregionen mit konventionellen PSWs und mit dem Nachteil einer Zerstörung und Zergliederung natürlicher Landschaftsräume erreicht werden. Weitere Vorteile einer Nutzung stillgelegter Bergwerke ergeben sich im Falle vorhandener noch offener untertägiger Hohlräume, die u.U. für die Speicherung von Wasser verwendet werden können. Nicht zu unterschätzen sind ferner die infolge der bergbaulichen Erschließung vorhandenen detaillierten Kenntnisse über die geologischen, hydrogeologischen und gebirgsmechanischen Eigenschaften des untertägigen Raumes, da sie beim Bau und bei der Nutzung vor größeren wirtschaftlichen Unsicherheiten schützen.

Deutschland war und ist ein rohstoffreiches Land. Zu den bekanntesten Vorkommen zählen die Lagerstätten der Braun- und Steinkohle, die Lagerstätten der Eisen- und sonstigen Metallerze, Salzlagerstätten, Spatlagerstätten und die Lagerstätten der Steine und Erden. Nach Schätzungen der Bergbehörden bewegt sich die Anzahl der Tagesöffnungen in Deutschland in einer Größenordnung von ungefähr 150.000, wobei einem Bergwerk mehrere Tagesöffnungen zugeordnet sind. Auch wenn sich nicht alle diese Bergwerke für PSWs eignen, lässt sich bereits aus diesen Zahlen das große Potential Deutschlands für diese Art der umweltfreundlichen Stromspeicherung ableiten. Die Einschränkungen, beziehungsweise Kriterien, für die Nutzbarkeit alter Bergwerk im Rahmen des Projekttitels werden in den folgenden Kapiteln näher betrachtet.

## **2. Vorteile durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke als PSW**

Aus der Nachnutzung stillgelegter Bergwerke resultieren mehrere Vorteile. Diese sind zusammengefasst:

- **Umweltfreundlichkeit:**  
Durch die angestrebte Errichtung der beiden Speicherbecken unter Tage erfolgt eine Minimierung der Inanspruchnahme der Tagesoberfläche und somit ein minimaler Eingriff in die natürliche Gestalt der Landschaft und der vorhandenen Landnutzung sowie der Naturräume (siehe Kapitel 7 „Umweltfolgeabschätzungen“).
- **Wirtschaftlichkeit aus bergmännischer Sicht:**  
Die Kosten für die Auffahrung von untertägigen Hohlräumen können durch die Nutzung bestehender Grubenbaue - insbesondere der Schächte und anderer Aufschlusselemente - erheblich reduziert werden.
- **Alternative Speicherung:**  
Während bei herkömmlichen PSWs für die Anlage der Speicherbecken vorhandene topografische Höhendifferenzen genutzt werden und daher meist nur Mittel- und Hochgebirgsregionen genutzt werden können, ist dies für Pumpspeicherwerke unter Tage keine Anforderung. Voraussetzung ist aus bergmännischer und geomechanischer Sicht lediglich eine geeignete Geologie.
- **Nachfolgenutzung:**  
Ein ausgebeutetes Bergwerk ist grundsätzlich nutzlos. Die Nachnutzung für PSW geeignete Bergwerke dient grundsätzlich dem Wohl der Allgemeinheit. Durch Anlage eines PSW werden Teile des vorhandenen Grubengebäudes einer neuen, sinnvollen Nutzung zugeführt.

### **3. Einschränkungen bei der Nachnutzung stillgelegter Bergwerke als PSW**

- **Dimensionierung der Hohlräume:**  
Die in den betrachteten Bergwerken vorhandenen Streckensysteme wurden ausschließlich für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe aufgefahren. Demzufolge orientiert sich die Hohlraumgröße an den spezifischen geologischen Eigenschaften und der vorhandenen Mächtigkeit des Wertgesteins. Für eine Nachnutzung wird eine Vergrößerung der bestehenden Hohlräume oder eine komplette Neuauffahrung notwendig sein. Andererseits kann unter besonderen Umständen, wenn eine Vergrößerung des Hohlraums aus technischen, gebirgsmechanischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, geprüft werden, ob die einzelnen

Komponenten eines PSW an die jeweiligen Gegebenheiten technisch und wirtschaftlich angepasst werden können.

- **Sicherung der Hohlräume:**

In Abhängigkeit von der Nutzung eines Hohlraums und der vorherrschenden Bedingungen während der Betriebszeit wurden die geschaffenen Hohlräume unterschiedlich gesichert. So werden Schächte, Füllorte und andere Ausrichtungselemente in der Regel für eine langfristige, Vorrichtungselementen hingegen nur für eine eher kurzfristige Nutzung gesichert. Eine ausführliche Betrachtung über die Sicherung der Hohlräume erfolgt in den nächsten Kapiteln.

## **4. Kriterien**

Nicht alle Bergwerke werden sich als Pumpspeicherwerke unter Tage nutzen lassen. Vielmehr müssen sie fachlich unterschiedlichen Kriterien/Anforderungen genügen. Die der Auswahl geeigneter Standorte für ein Pumpspeicherwerk zugrunde liegenden Kriterien werden im Folgenden zusammengefasst in Kategorien erläutert.

### **4.1 Region**

- **Umweltfreundlichkeit:**

Negative Umwelteinflüsse, welche durch den Bau bzw. die Inbetriebnahme von PSW unter Tage verursacht werden können, müssen vermieden werden. Dazu zählen auch gesundheitsschädliche Auswirkungen durch Wasser- und Luftverschmutzung.

- **Infrastruktur über Tage:**

Bei diesem Kriterium werden noch vorhandene übertägige Betriebsflächen, eventuell vorhandene Gebäude sowie die zu den ehemaligen Bergwerken führenden Verkehrswege berücksichtigt. Für eine gute Erreichbarkeit der übertägigen Anlagen und somit für den Transport von Maschinenteilen zum Schacht sind vorhandene Straßen und Wege ein wichtiger Faktor. Diese sind ggf. auch für den Abtransport von Ausbruchsmaterial, das bei der Vergrößerung bzw. Neuauffahrung der Hohlräume entstehen würde, notwendig, es sei denn, in unmittelbarer Nähe befinden sich ausreichend für Bergehalten nutzbare Flächen. Eine Nutzbarmachung des Bergematerials als Rohstoff für andere Zwecke ist zu prüfen und dient der Reduktion in Anspruch zunehmender Flächen.

- Schutzgebiete:

Hier werden rechtlich ausgewiesene Bereiche, die dem Natur- oder Landschaftsschutz unterliegen, betrachtet. Dieses Kriterium kann eine bedeutende Rolle bei der Eignungsprüfung einer Region für ein PSW spielen.

- Hydrogeologie:

Hier sind die Lage der Grundwasserleiter, der Grundwasserspiegel, die übertägigen Gewässer und unter Umständen Probleme, die bei einer Absenkung des Grundwasserspiegels auftreten können, zu betrachten. Regionen mit komplexer Hydrogeologie erfordern eine Einzelfallbetrachtung.

## 4.2 Lagerstätte

- Geologie:

Die Geologie spielt bei der Nachnutzung stillgelegter Bergwerke als PSW eine übergeordnete Rolle. Dabei ist auch zu betrachten, in welchen Gesteinsformationen sich die zukünftigen Anlagen (Hohlräume) des PSW befinden werden. Aus den bekannten vorhandenen Gesteinstypen ist eine erste Einschätzung der Standfestigkeit des Gebirgsverbandes möglich.

- Gebirgsmechanik:

Basierend auf den geologischen Vorerkundungen wird hierbei die Standfestigkeit des Gebirges genauer untersucht. Um eine ausreichende Stabilität der Hohlräume über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten gewährleisten zu können, sollte das umgebende Gebirge aus einem standfesten Gestein bestehen, welches keine oder nur eine geringe Klüftung aufweist. Die Gesteins- und Gebirgseigenschaften werden als entscheidender Faktor für die Gebirgsbeherrschung untersucht. Große Störungen, zerklüftetes Gebirge und, sofern bekannt, große Wasserzuflüsse stellen keine idealen Bedingungen dar.

- Art der Lagerstätte:

Hier wird zwischen steilstehenden, flachen, linsenförmigen und massigen Lagerstätten unterschieden. Für den Bau von untertägigen PSWs ist eine flache Lagerung zur Erreichung großer Speichervolumina ideal.

- Wasserlöslichkeit des Gebirges:

Wasserlösliche Gebirgsformationen im Bereich der Speicherbecken führen zu einer Instabilität des Gebirges und Verringerung des Speichervolumens. So ist der Bau

von Speicherbecken in einem Salzstock ohne aufwendige Abdichtungsmaßnahmen nicht möglich. Gleiches gilt für Gebirge mit hohen Anteilen an Anhydrit oder Tonen.

- Rohstoffsicherung:  
Höfliche Lagerstätten, also Lagerstätten, die abbaubare Mengen an Wertmineral enthalten, dienen der Rohstoffsicherung. Ein in der Zukunft möglicher Abbau dieser Lagerstätten sollte durch den Bau bzw. die Inbetriebnahme eines PSWs nicht verhindert werden.

#### **4.3 Bergwerk /6/,/7/**

- Teufe des Bergwerks:  
Die Teufe der Schächte als zentrales Element für den Bau des PSWs ist mitentscheidend für die mögliche nutzbare Fallhöhe zwischen den Speicherbecken. Dabei ist zu beachten, dass die für eine Eignung notwendige Teufe auch durch eine Kombination mehrerer Schächte und Streckensysteme erreicht werden kann. Die Bergwerke, die eine Teufe von weniger als 250m aufweisen, werden im Rahmen dieses Projektes nicht weiter betrachtet.
- Größe der Zugänge:  
Die Größe, d.h. der Querschnitt, der Zugänge ist wichtig für den Transport von Maschinenteilen nach unter Tage sowie den Transport des Ausbruchmaterials nach über Tage.
- Dachbehandlung:  
Hierbei werden 3 bergmännische Verfahrensweisen unterschieden:
  1. Versatzbau - Sicherung der Abbauräume mit Versatz
  2. Bruchbau - Planmäßiges zu Bruch gehen der Abbauräume
  3. Festenbau - Sicherung der Abbauräume durch das Stehenlassen von Festen

Dieser Aspekt wird wegen der vorhandenen bzw. nutzbaren Hohlräume betrachtet. Bei Bruch- und Versatzbau stehen in der Regel nutzbare Hohlräume zur Speicherung von Wasser nicht zur Verfügung. Eine Auffahrung der Speicherbecken in solchen Bereichen ist aus technischer und gebirgsmechanischer Sicht kritisch. Speicherbecken lassen sich wesentlich einfacher in Bereichen des Festenbaus oder in durch Sicherungen bereits ausgebauten Bereichen errichten.

- **Verwahrung:**  
Hierbei wird berücksichtigt, ob und mit welchem Material die Schächte und Streckensysteme verwahrt wurden. Bei der Wiedernutzbarmachung von voll- bzw. teilverfüllten Zugängen ist mit einem hohen Aufwand zu rechnen.
- **Alter der Bergwerke:**  
Das Alter der Bergwerke gibt wichtige Hinweise auf die Größe der aufgefahrenen Strecken und Grubenbaue. Dies liegt an der fortschreitenden Mechanisierung und der damit verbundenen Vergrößerung der Streckenquerschnitte.
- **Bereits erfolgte Nachnutzung:**  
Bergwerke, die zur Untertageverwertung oder als Untertagedeponie nachgenutzt wurden und werden, finden in dieser Studie keine weitere Berücksichtigung, da bei einer Nutzung für ein PSW von keiner Umweltgefährdung ausgegangen werden muss.

## **5. Bewertung der Bergbausparten**

Mit Hilfe der oben genannten Kriterien wurden die einzelnen Bergbausparten in Deutschland auf ihre Eignung untersucht und wie folgt in 5 Kategorien unterteilt:

### **5.1 Erzbergbau /9/,/10/,/14/**

Der Erzbergbau in Deutschland unterteilt sich in Eisenerz- und Buntmetallerzbergbau. Er zählt zum ältesten Bergbauzweig in Deutschland, so dass hier Grubenbaue vorhanden und teilweise auch offen sind, die ein Alter von mehr als 500 Jahren aufweisen. Zudem ist der Abbau teilweise in sehr große Teufen von bis zu 1.800 m vorgedrungen.

Die Lagerstätten des Eisenerzes befinden sich im Lahn-Dill-Gebiet, im Siegerland, im Weserbergland, im Raum Salzgitter, im Thüringer Wald, in der Oberpfalz und im Harz. Sie sind somit weit über Deutschland verteilt. Je nach ihrer Entstehung sind die Vorkommen unterschiedlich ausgeprägt. So gibt es flachgelagerte, flözartige, massige sowie steilstehende, gangartige Lagerstätten. Entstanden sind diese durch Sedimentation, durch Begleitprozesse bei der Spilitisierung oder hydrothermal. Der Abbau der Eisenerze geschah aufgrund der unterschiedlichen Lagerstättenarten ebenfalls auf verschiedenen Wegen. Im Bereich der flachgelagerten und massigen Lagerstätten wurde meist im Kammer-Festebau abgebaut. Die Bereiche der hydrothermalen Lagerstätten wurden aufgrund ihrer Dimensionen teils im Kammer-Festebau, teils im kleinräumigen Firsten- oder



Strossenbau abgebaut. Versatz wurde hier nur in einigen Bereichen eingebracht, so dass teilweise recht große Hohlräume offen stehen.

Die Lagerstätten des Buntmetallerzbergbaus befinden sich im Harz, im Erzgebirge, im Thüringer Wald und im Schwarzwald. Sie sind entweder hydrothermale Gangerzlagerstätten oder vulkanisch entstandene Greisen-, Skarn- und Gangerzlagerstätten. Auch ist hier eine flache, flözartige Ablagerung durch sedimentäre Bildung möglich. Ebenso wie die Art der Lagerstätten variiert die vorzufindende Mineralisation. Es sind sulfidische und oxydische Mineralien genauso zu finden, wie Silikate. Auch die angewendete Abbauart ist sehr vielfältig. Im Harz, im Schwarzwald und im Thüringer Wald wurden die meisten Lagerstätten durch Firsten- oder Strossenbau gewonnen. Zusätzlich zu den beiden vorgenannten Abbauverfahren wurde im Erzgebirge auch im Blockbau gearbeitet. Versatz wurde nach Bedarf eingebracht. Beim Firstenbau zum Erreichen der Firste und beim Strossenbau als Kopfschutz. In den meisten Fällen wurde Lockerversatz auf Holzbühnen verwendet. Bei der blockartigen Bauweise wurde meist mit Selbstversatz gearbeitet, d.h. es erfolgte ein planmäßiges zu Bruch gehen des Deckgebirges. Der Abbau der flözartigen Kupferschieferlagerstätte im Harz geschah langfrontartig mit Bruchsteinversatz.

Die Bergwerke im Bereich des Erzbergbaus sind in den meisten Fällen für den Bau untertägiger Speicherwerke geeignet. Dies folgt aus den unterschiedlichen vorherrschenden Bedingungen. So sind die meisten Bergwerke geologisch stabil und bieten somit gute Voraussetzungen für solche Speicherwerke. Probleme treten bei den sedimentär gebildeten Lagerstätten auf, da hier die umgebenden Gesteinsschichten quellfähig und somit geologisch instabil sind.

## **5.2 Salzbergbau /8/,/9/,/12/**

In Deutschland wird unter Tage sowohl Kali- als auch Steinsalz gewonnen. Hier werden Teufen von bis zu 1400m erreicht. Die Lagerstätten befinden sich im Raum Heilbronn, am Westrand des Ruhrgebietes, in der Nähe von Hannover, Wolfenbüttel, Gorleben, Zielitz, Bernburg und Staßfurt. Eines der größten Reviere befindet sich bei Fulda südlich der Linie Kassel - Erfurt. Eine weitere Lagerstätte befindet sich in Süddeutschland in Berchtesgaden.

Im Bereich des Kali- und Salzbergbaus sind stockartige und flözartige Lagerstätten anzutreffen. Entstanden sind sie durch Evaporationsprozesse, teilweise mit einer tektonischen Überprägung. Das umgebende Gebirge ist meist aus Sedimentgesteinen aufgebaut, wobei die Abdeckung der Lagerstätten durch eine teils sehr mächtige Tonschicht erfolgt. Die

oberen Bereiche der Deckgebirge sind hier teilweise aus Lockersedimenten aufgebaut. In diesen ist es nur mit hohem Aufwand möglich, ein oberes Speicherbecken zu bauen. Bei Anwendung eines Örter-Pfeiler-Baus bleiben die abgebauten Bereiche in der flachen Lagerung des Salzbergbaus nach dem Abbau offen stehen.

Der Salzbergbau mit flachgelagerten Grubenhohlräumen bietet zwar sehr große Restvolumina, jedoch muss die Löslichkeit der Salze beachtet werden. Eine Verwendung von Süßwasser als Medium im Pumpspeicherwerk scheidet deswegen aus. Dieses würde zu unkontrollierter Erweiterung der Hohlräume führen und die Stabilität gefährden. Auch ist bei der Auslegung eines Kraftwerks im Salzbergbau die Korrosivität des Salzes zu beachten. Der Einsatz von Laugen als Betriebsmaterial scheidet aufgrund unterschiedlichen Kristallisationsverhaltens bei unterschiedlichen Temperaturen i.d.R. aus. Die Gewährleistung einer langzeitigen Dichtheit und mechanischen Stabilität bedarf weiterer Forschung, um Bergwerke dieser Sparte für den Bau untertägiger Speicherwerke nutzen zu können.

### **5.3 Spatbergbau**

Zum Spatbergbau in Deutschland gehören der Abbau von Schwerspat (Baryt), Flussspat und Kalkspat. Der Baryt und der Flussspat werden hauptsächlich in der chemischen Industrie, zum Teil aber auch in der Bauindustrie (Strahlenschutzbeton) verwendet. Da der Abbau von Kalkspat meist nur in Steinbrüchen über Tage erfolgt, werden im Weiteren nur der Schwerspat und Flussspat betrachtet.

Spatbergbau gab, bzw. gibt es im Harz, im Thüringer Wald, im Erzgebirge und im Schwarzwald. Durch die unterschiedliche Entstehung und nachfolgende tektonische Überprägung sind Spatlagerstätten als steilstehender Gang oder als flache, flözartige Lagerstätte ausgebildet. Der Spat selbst ist meist hydrothermal gebildet. Abgebaut wurden, bzw. werden diese Lagerstätten meist im Firsten- oder Strossenbau. Bei allen Bauweisen wird zur Stabilisierung des Grubengebäudes Versatz eingebracht.

Die Bergwerke in diesem Bereich sind unterschiedlich für den Bau von untertägigen PSW geeignet, da es hier aufgrund des eingebrachten Versatzes schwierig ist, Hohlräume für den Bau von Speicherbecken zu finden bzw. neu aufzufahren. Da jedoch das umliegende Gebirge, wie bei den Erzlagerstätten, eine hohe Stabilität aufweist, kann gegebenenfalls an eine Nachnutzung durch den Bau von untertägigen Pumpspeicherwerken gedacht werden.

## **5.4 Kohlebergbau**

Deutschland verfügt über ausgedehnte Vorkommen von Braun- und Steinkohle, wobei in der weiteren Betrachtung nur untertägiger Bergbau gemeint ist.

Stein- und Braunkohlelagerstätten sind sedimentär entstanden und damit flächig ausgebildet. Während Braunkohle Flözemächtigkeit von bis zu mehreren 10er Metern erreichen, beschränkt sich die Stärke von in Deutschland vorwiegend vorkommenden Steinkohleflözen auf maximal 3 bis 4 m.

Soweit nicht geologische Prozesse die Lagerung der Flöze verworfen und gestört haben, sind Braun- und Steinkohlelagerstätten weitgehend flachgelagert.

Braunkohle lagert bedingt durch das geringere Alter sehr oberflächennah. Tiefen von 100m sind schon außergewöhnlich, weshalb Grubengebäude aus der untertägigen Gewinnung von Braunkohle für die Errichtung von Pumpspeicherwerken nicht in Frage kommen.

Braunkohleflöze sind von Lockergesteinsschichten überlagert, die in der Regel wassererfüllt und damit fließfähig sind. Diese Schichten eignen sich nicht für die Auffahrung von Hohlräumen für ein Pumpspeicherwerk.

Ehemalige untertägige Braunkohlebergwerke fallen daher aus den weiteren Betrachtungen heraus.

Deutschland verfügt über ausgedehnte Vorkommen von Steinkohle im Saarland, im Aachener Raum, im Ruhrgebiet, westlich von Hannover und in der Zwickauer Mulde. Weitere Kleinvorkommen sind für die Suche wegen ihrer geringen Ausdehnung und oberflächennahen Lagerung nicht der Untersuchung wert.

Die Gewinnung in den zu betrachtenden Gebieten reicht in Teufen von bis zu 1500 m, sodass sich Steinkohlebergwerke aus dieser Sicht für die Errichtung von Pumpspeicherwerken anbieten.

In der Regel liegen mehrere Flöze mit Zwischenmitteln aus Gestein übereinander im Gebirge, die nach geotechnischen Gesichtspunkten nacheinander abgebaut werden. In der Regel erfolgt ein weitgehend vollflächiger Abbau der Flöze.

Bis in die 1960er Jahre wurden Abbauhohlräume wieder mit Versatz gefüllt; seitdem ist der versatzlose Abbau vorherrschend, bei dem das über dem Hohlraum anstehende Deck-

gebirge planmäßig zu Bruch geht. Diese Hohlräume verschließen sich dann durch Konvergenz des Gebirges bis auf ein verbleibendes Resthohlraumvolumen. Das zugehörige Streckensystem, mit dem die Gewinnungsfelder erschlossen worden sind, wird in dieser Phase ebenso bis auf geringe Restquerschnitte zusammengedrückt.

Bedingt durch die sehr ausgedehnten Vorkommen sind die vom Steinkohlebergbau erschlossenen Bergbaugebiete sowohl in der Fläche als auch in der höhenmäßigen Erstreckung sehr ausgedehnt. Resthohlraumvolumina, die für ein Pumpspeicherwerk nutzbringend wären, sind aus den vorbeschriebenen Gründen in nur geringem Umfang vorhanden.

Ein großer Teil des Resthohlraumvolumens bildet das Porenvolumen in verbrochenen Abbauhohlräumen oder dem eingebrachten Versatz. Trotz möglicherweise großen Gesamtvolumina sind die engen Kanäle zu beachten, die die Strömung des Speichermediums Wasser in untragbarer Weise behindern würden.

Letztlich bliebe beim Steinkohlebergbau das nicht unerhebliche Volumen des Hauptstreckensystems als potentiellles Speichervolumen.

Besonderes Augenmerk ist im Steinkohlebergbau auf die Explosionsgefahr zu legen. Aus der Lagerstättenbildung stammend sind im Gebirge große Mengen Methan gespeichert, die bei der Auffahrung von Grubenhohlräumen unvermeidbar zutreten. Bei Anlage eines Pumpspeicherwerks in alten Steinkohlebergwerken müssen folglich die elektrischen Teile explosionsgeschützt ausgeführt werden, was einen erheblichen Aufwand erfordern würde.

Letztlich ist zu berücksichtigen, dass die Gewinnung von Steinkohle in mehreren Gebieten von Deutschland noch aktiv ist, weshalb diese Gebiete bis auf weiteres nicht für die Errichtung von Pumpspeicherwerken in Frage kommen.

## **5.5 Weiterer Bergbau**

Zu den weiteren Bergbausparten zählen der Bergbau auf Steine und Erden, der Bohrlochbergbau auf Erdöl und Erdgas und der Kavernenbergbau.

Zum Bergbau auf Steine und Erden zählen der Abbau von Werksteinen (Steinbruchsbetriebe und Schieferbrüche) und der Abbau von Kaolin (Porzellanerde) und Tonen. Die in diesem Bereich auffindbaren Bergwerke sind in den meisten Fällen klein oder aufgrund der Geologie instabil. Bergwerke dieser Art sind in Thüringen, in Bayern, in

Niedersachsen und auch in Sachsen zu finden. Auch erfolgt hier der Abbau meist auf einer Sohle, so dass sie für den Bau untertägiger Pumpspeicheranlagen nicht in Frage kommen.

Der Bergbau auf Erdöl und Erdgas ist ein Bohrlochbergbau, so dass hier eine Nachnutzung für untertägige Pumpspeicheranlagen ebenfalls nicht möglich ist.

Ebenso wie der Bergbau auf Erdöl und Erdgas ist der Kavernenbergbau im Salz ein Bohrlochbergbau und somit nicht für eine Nachnutzung durch untertägige Pumpspeicheranlagen geeignet. Eine Nutzung einer Kaverne als Unterbecken ist aus Stabilitätsgründen (Konvergenz mit einhergehenden Bodenbewegungen) nicht realisierbar, da in der Kaverne dauerhaft ein Stützdruck aufrechterhalten werden muss. Auch ist der Bau der Kraftwerkskaverne unterhalb der Kaverne schwierig und kostenaufwendig.

## **6. Bewertung der Bergbauregionen**

Mit Hilfe der aufgeführten Kriterien und beschriebenen Bergbausparten und ihren grundlegenden Eigenschaften können den verschiedenen Bergbauregionen Deutschlands die entsprechenden Eignungen für den Bau untertägiger Pumpspeicheranlagen zugeordnet werden. Diese Zuordnung ist der folgenden Auflistung zu entnehmen. In dieser wird den Regionen eine ihrer Eignung entsprechende Farbe zugewiesen. Die Zahl hinter der jeweiligen Bergbauregion ermöglicht eine Zuordnung auf der Deutschlandkarte, die im Anschluss eingefügt ist.

- gut geeignete Regionen (in der Karte grün gekennzeichnet)  
In diesen Regionen ist es aufgrund der vorherrschenden Eigenschaften prinzipiell möglich, Pumpspeicherwerke unter Tage zu errichten.  
Hierzu zählen unter anderem der Harz (8), das Erzgebirge (17) und das Siegerland (13).
- bedingt geeignete Regionen (in der Karte gelb gekennzeichnet)  
In diesen Regionen ist die Errichtung untertägiger Pumpspeicherwerke zwar möglich, jedoch mit einem erhöhten Aufwand verbunden.  
Zu den bedingt geeigneten Regionen zählen der Schwarzwald (21), der Thüringer Wald(Nummer?) und das Thüringer Becken (9) sowie das Lahn-Dill-Gebiet (12).
- Zur Zeit nicht geeignete bzw. nicht nutzbare Regionen (in der Karte rot gekennzeichnet)

In diesen Regionen ist die Errichtung untertägiger Pumpspeicherwerke nur erschwert bis kaum möglich. Dies folgt aus den vorherrschenden Bedingungen, wie Explosionsgefahr und Wasserlöslichkeit.

Hierzu zählen die Regionen, in denen Kohle (1, 14) oder Salze (2, 4, 5, 6, 7, 10, 23, 25) abgebaut wurden, bzw. werden, aber auch ein Teil der Regionen, in denen Erz- bzw. Spatbergbau (4, 18, 19, 20, 22) betrieben wurde.

Nach Anwendung der Kriterien reduziert sich die Anzahl der für den Bau eines untertägigen Pumpspeicherwerkes in Frage kommenden Bergwerke. Hierbei handelt es sich um diejenigen Bergwerke, die sich in den als gut geeignet eingestuften Regionen befinden.



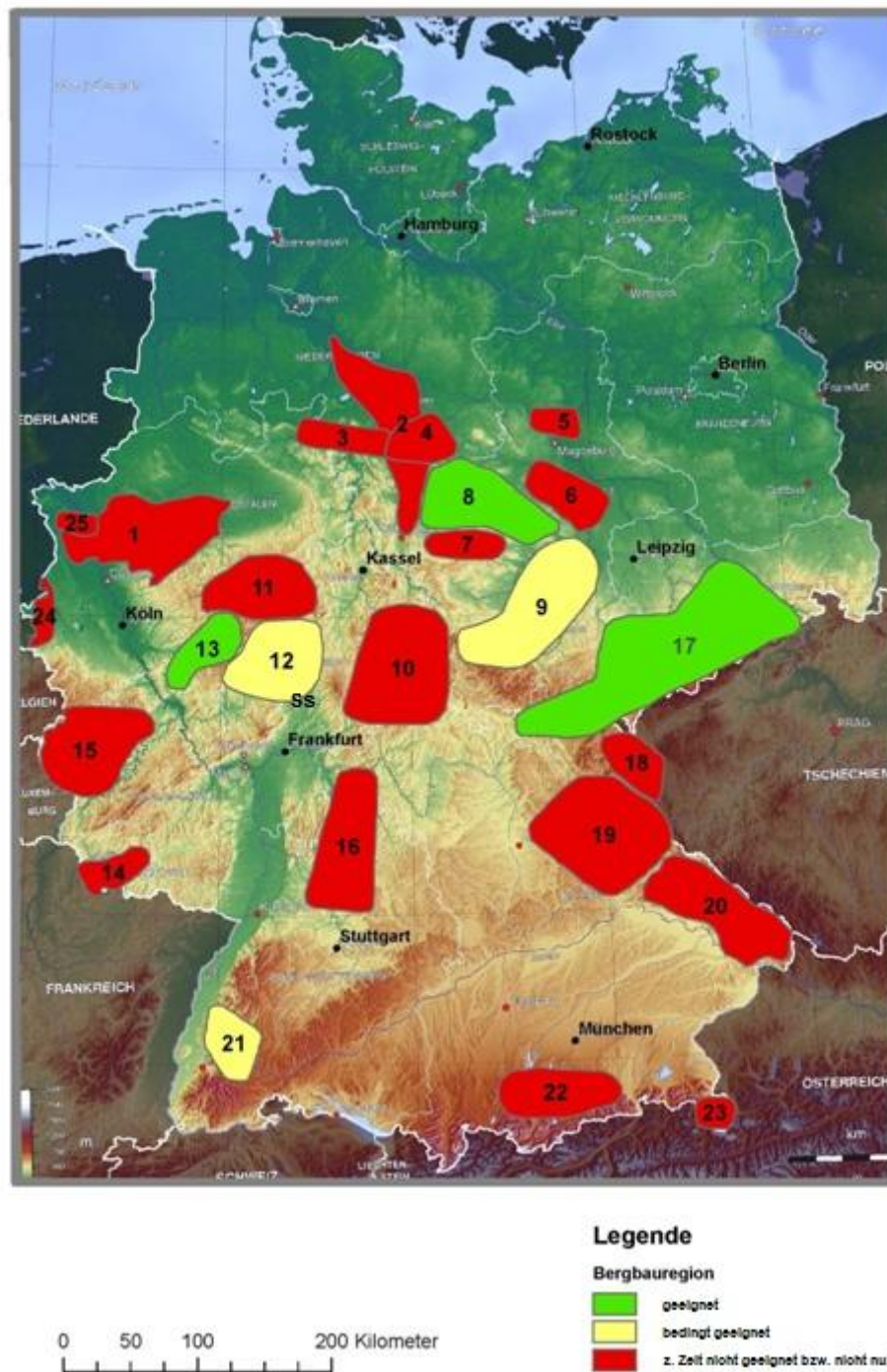


Abbildung 6-1: Bergbauregionen in Deutschland und ihre Eignung für die Errichtung von untertägigen Pumpspeicherwerken



Nummer	Region
1	Ruhrgebiet
2	Raum Hannover
3	Weserbergland
4	Raum Salzgitter
5	Mitteldeutschland (Kali)
6	Mitteldeutschland (Salz)
7	Südostharz (Spat, Salz)
8	Harz
9	Thüringer Wald
10	Hessen und Thüringen (Kali)
11	Sauerland (Spat, Erz)
12	Sauerland (Schiefer)
13	Siegerland (Erz)
14	Saarland
15	Eifel
16	Württemberg (Salz)
17	Erzgebirge
18	Fichtelgebirge
19	Oberpfalz
20	Bayrischer Wald
21	Schwarzwald
22	Oberbayern
23	Berchtesgaden
24	Aachener Revier
25	Niederrhein (Salz)

Tabelle 6-1: Bergbauregionen in Deutschland

## 7. Suche nach geeigneten Bergwerken

### 7.1 Einführung

In diesem Kapitel werden die einzelnen Bergwerke in den Regionen, die als gut geeignet eingestuft wurden, näher untersucht. Dies sind der Harz, das Siegerland und das Erzgebirge.

Diejenigen Bergwerke, die sich in einem geeigneten Gebirgsverband befinden und somit über ein stabiles Gefüge verfügen, werden dabei zuerst betrachtet. Da, wie bereits ausgeführt, die Geologie nicht das einzige entscheidende Kriterium ist, werden der Aufbau des Bergwerks, die vorhandenen Schächte sowie offene Grubenräume im weiteren Verlauf

untersucht. In den Bergwerken dieser Regionen sind teilweise noch offene Hohlräume vorhanden, die für die Auffahrung eines Unterbeckens genutzt werden können. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass in den meisten Fällen sowohl ein Hohlraum für den Einbau des Kraftwerkes als auch ein Oberbecken neu aufgefahren werden müssen.

Die Kriterien, worauf sich die Suche nach einem geeigneten Bergwerk bezieht, wurden in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführt.

Mögliche für den Bau untertägiger PSW geeignete Bergwerke sind in den folgenden Tabellen enthalten. Hier sind neben den gut geeigneten Bergwerken (grün gekennzeichnet) bedingt geeignete (gelb) und zurzeit nicht geeignete bzw. nicht nutzbare Bergwerke (rot) aufgeführt.

## 7.2 Bergwerke im Harz

Im Bereich des Harzes gab es bis zum Anfang des 21. Jahrhunderts Bergbau unter Tage. Der langen Tradition entsprechend sind viele Bergwerke im Harz vorhanden. Im westlichen Teil sind die Lagerstätten meist hydrothermal gebildete, steilstehende Erzgänge. Am Harzrand gibt es hier flachgelagerte, durch Sedimentation entstandene Kupfererzlagertstätten, hydrothermal gebildete Eisenerz- und Buntmetallerzlagertstätten ebenso wie durch Evaporation entstandene Salzlagerstätten. Der Bergbau im Harz fand in Teufen von bis zu 1.000m statt. Für den Bau untertägiger PSW geeignet erscheinende Bergwerke sind in Tabelle 7-1 enthalten. Hier sind neben den gut geeigneten Bergwerken (grün gekennzeichnet) auch eher nicht geeignete (rot) und bedingt geeignete (gelb) aufgeführt. Als wichtige Kenndaten sind die Schachtteufe (als Auskunft über eine mögliche Fallhöhe), die Abmessungen der Schächte und die Mineralisation angegeben. Die Zustandsangaben zum Schacht und die Anmerkungen dienen als zusätzliche Informationen für die Einordnung der Bergwerke/Schächte in eine der Eignungsklassen

	Name	Lage	Tiefe [m]	Durchmesser	Zustand	Anmerkung	Mineralisation
<b>Geeignet</b>	Kaiser Wilhelm II-Schacht	Clausthal-Z.	864	4,75 m	teilverfüllt		Pb/Zn/Cu/Ag
	Neuer Haus-herzberger Schacht	Clausthal-Z.	631		Betonplatte		Pb/Zn/Cu/Ag
	Otiliae-Schacht	Clausthal-Z.	594		teilverfüllt		Pb/Zn/Cu/Ag
	Schacht Silber-	Clausthal-	420	6 m * 3,5	teilver-		Pb/Zn/Cu/Ag

	segen	Z.		m	füllt		
	Neuer Johanneser Schacht	Clausthal-Z.	628		teilverfüllt		Pb/Zn/Cu/Ag
	Neuer Förderschacht	Lautenthal	722		offen		Pb/Zn/Cu/Ag
	Wiemannsbuchtschacht	Bad Grund	761		teilverfüllt		Pb/Zn/Cu/Ag
	Achenbachschacht	Bad Grund	719		teilverfüllt		Pb/Zn/Cu/Ag
	Büchenberg	Wernigerode	330		teilverfüllt		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeOOH
Bedingt geeignet	Blindschacht Ernst August	Wildemann	261		offen		Pb/Zn/Cu/Ag
	Schacht Königin Marie	Clausthal-Z.	763	2 á 2 m * 3 m	teilverfüllt	zwei ellipsoförmige Teilquerschnitte	Pb/Zn/Cu/Ag
z.Zt. nicht geeignet bzw. nicht nutzbar	Drei Kronen und Ehrte	Elbingerode	472		offen	Sauerwasser	FeS <sub>2</sub>
	Herzogschacht Straßberg	Straßberg	380		verfüllt	Sauerwasser	CaF <sub>2</sub>
	Flussgrube Rottleberode	Rottleberode	504		verfüllt	sehr hoher Grubenwasseranfall	CaF <sub>2</sub>
	Knesebeck-Schacht	Bad Grund	499		teilverfüllt	kleiner Querschnitt	Pb/Zn/Cu/Ag
	Westschacht	Bad Grund	518		teilverfüllt	kleiner Querschnitt	Pb/Zn/Cu/Ag
	Rammelsberg-Schacht	Goslar	499		offen	Sauerwasser, Welterbestätte	Pb/Zn/Cu/Ag
	Richtschacht	Goslar	480		offen	Sauerwasser, Welterbestätte	Pb/Zn/Cu/Ag
	Braunesumpf	Blankenburg	320		verfüllt	Bruchbau bis zu Tage	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeOOH

Tabelle 7-1: Bewertung der Bergwerke bzw. Schächte im Harz /11/, /12/

### 7.3 Bergwerke im Siegerland und Lahn-Dill Gebiet

Im Bereich des Siegerlandes wurden hydrothermal gebildete Spateisenlagerstätten abgebaut. Spateisen ist ein karbonatisches Eisenerz. Dieses enthält speziell im Siegerland größere Mengen Mangan. Daher wurde hier schon sehr früh Bergbau auf Eisenerz betrieben, da dieses Erz nach der Verhüttung eine besonders gute Stahlqualität lieferte. Der Bergbau lässt sich bis etwa 2.500 Jahre zurückverfolgen. Die Bergwerke haben hier im Laufe der Zeit Teufen von bis zu 1.000m erreicht.

	Name	Lage	Tiefe [m]	Durchmesser	Zustand	Anmerkung	Mineralisation
Geeignet	Kohlenbacher Schacht	Brüderbund	341				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Adolfschacht	Brüderbund	869				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Blindschacht	Brüderbund	628				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Gilberg	Gilberg	550	3,20 x 5,20	offen		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Kaiserschacht	Eisenzecher Zug	790				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	Ameise	445				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	Eiserner Union	615	5,00 rund	offen		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Maschinenschacht	Eiserner Union	610	5,00 rund	offen		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Lorenzschacht	Bautenberg	720	4,00 x 2,50 oval	verfüllt		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht II	Bollnbach	815				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Förderschacht	Füsseberg	1052				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	Georg	958				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht II	Georg	850	4,62 x 4,20			FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Goldberg II	Glanzenberg	500				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Mannseifenschacht	Grosse Burg	419				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	Hohe Grete	430	3,23 x 4,10			FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Blindschacht	Steimel	627				FeCO <sub>3</sub> + Mn

	Neuer Schacht	Petersbach	820				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	Bindweide	450	3,20 x 4,20	offen		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht II	Bindweide	535	4,20 x 3,20	offen		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Häuslingstiefe	Cons. Häuslingstiefe	460	4,50 x 3,20	verfüllt		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Alter Schacht	Pfannenberger Einigkeit	450				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Bismarschacht	Pfannenberger Einigkeit	907	4,2 rund			FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Hindenburg-schacht	Pfannenberger Einigkeit	1032	4,2 rund			FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Kaiser-Friedrich-Schacht	Freier Grunder Bergwerksverein	600				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht II	Rasselskaute	555				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Förderschacht	Wolf	710	3,50 rund			FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	San Fernando	675				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht II	San Fernando	1001				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Alte Dreisbach	Alte Dreisbach	850	2,70 x 3,70	teilverfüllt		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Wilhelmine	Vereinigte Wilhelmine	794	3,70 x 3,20	teilverfüllt		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Silberwiese	Silberwiese	520				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht II	St. Andreas	490				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Alter Schacht	Vereinigung	580				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Neuer Schacht I	Vereinigung	680				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Viktoria	Viktoria	720	3,00 x 4,00	offen		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Ludendorf-schacht	Neue Haardt	1101	4,5 x 4,5			FeCO <sub>3</sub> + Mn
Bedingt geeignet	Bautenberg	Bautenberg	1022			Schachteinbruch	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Talsbach	Talsbach	315	3,25 x 3,50 oval	offen		FeCO <sub>3</sub> + Mn

	Neuer Schacht	Heinrichsglück	300				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Wilhelmschacht	Käusersteimel	320				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Apfelbaum	Apfelbaumer Zug	393	4,50 x 5,00			FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Blindschacht	Kuhlenwalder Zug	313				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Martinshardt	Martinshardt	310	3,80 rund	teilverfüllt		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	St. Andreas	313				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht II	Storch	785	2,50 x 4,50	teilverfüllt		FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Kuperkaute	Storch	330				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Lurzenbach	Storch	724				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Honigsmund	Storch	800				FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Neuer Schacht	Wingertshardt	349	4,90 x 2,60	offen		FeCO <sub>3</sub> + Mn
z.Zt. nicht geeignet bzw. nicht nutzbar	Barbaraschacht	Louise	450	2,20 x 4,40		Kleiner Querschnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	Bollnbach	526	4,03 x 1,26		Kleiner Querschnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	Bollnbach	526	4,03 x 1,26		Kleiner Querschnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Gustav-Georg	Storch	585	2,00 x 4,50		Kleiner Querschnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Maschinenschacht	Fischbacher Werk	390	2,54 x 0,9		Kleiner Querschnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Leo	Peterszeche	440	4,00 x 2,00	offen	Kleiner Querschnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht II	Glücksbrunnen	771	3,71 x 2,00		Kleiner Querschnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Maschinenschacht	Concordia	882	3,77 x 1,60		Kleiner Querschnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn

						schnitt	
	Glücksstern	Glücksstern	480	4,18 x 2,17 oval	offen	Kleiner Quer- schnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Maschinenschacht	Eisenhardter Tiefbau	790	2,50 x 3,20	teilver füllt	Kleiner Quer- schnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Neuer Schacht	Zufälligglück	960	3,14 x 2,36		Kleiner Quer- schnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn
	Schacht I	Neue Haardt	351	6	offen	Kleiner Quer- schnitt	FeCO <sub>3</sub> + Mn

Tabelle 7-2: Bewertung der Bergwerke und Schächte im Siegerland und Lahn-Dill Gebiet. /17/, /18/

## 7.4 Bergwerke im Erzgebirge

Im Bereich des Erzgebirges wurden, ähnlich wie im Harz, unterschiedliche Lagerstätten abgebaut. Dazu zählen unter anderem hydrothermal gebildete Gangerzlagerstätten mit Blei-, Zink-, Kupfer- und Silbererz, aber auch durch vulkanische Aktivitäten gebildete Greisen- oder Skarnlagerstätten mit Zinn- und Wolframerzen. Eine Besonderheit des Erzgebirges ist eine Uranerzlagerstätte.

Auch im Erzgebirge fand wie im Harz und Siegerland der Bergbau über einen sehr langen Zeitraum statt. Die letzten aktiven Bergwerke wurden Anfang der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts geschlossen.

	Name	Lage	Tiefe [m]	Durch messer	Zustand	Anmerkung	Mineralisa- tion
<b>Geig- net</b>	Blind- schacht 1	Pöhl Tellerhüser	500	7,4*3, 24	Offen		Sn, U
	Blind- schacht2	Pöhl Tellerhüser	510	7,4*3, 2	offen		Sn, U
<b>Bedingt geig-</b>	Alte Elisa- beth	Freiberger Revier	724			Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/A g/Spat
	Abraham- schacht	Freiberger Revier	625			Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/A g/Spat
	David- Richt- schacht	Freiberger Revier	625	16m <sup>2</sup>		Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/A g/Spat
	Hoffnung- Schacht	Freiberger Revier				Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/A g/Spat
	Löffler- Schacht	Freiberger Revier				Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/A g/Spat



Thurmhof-Schacht	Freiberger Revier	647	12,6m <sup>2</sup>		Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/Ag/Spat
Wiesen-schacht	Freiberger Revier				Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/Ag/Spat
Reiche Ze-che	Freiberger Revier	637	14m <sup>2</sup>		Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/Ag/Spat
Drei-Brüder-Schacht	Zug	390			Wasserkraftwerk, Wiederinbetriebnahme durch Verein geplant	Pb/Zn/Cu/Ag/Spat
Glückauf-schacht	Freiberger Revier	666	15,6m <sup>2</sup>		Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/Ag/Spat
Daniel-Schacht	Zug	854			Verbundbergwerk, Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/Ag/Spat
Julius-schacht	Freiberger Revier				Bergschäden im Freiberger Revier	Pb/Zn/Cu/Ag/Spat
Schacht 8	Oberschlema	305	10,7m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 14b	Oberschlema	432	19,1m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 16	Oberschlema	428	10,7m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 27	Oberschlema	332	12,24 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 64	Oberschlema	404	12,24 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 127	Oberschlema	463	16,25 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 256	Oberschlema	499	20,74 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 259	Oberschlema	380	11,23 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 280	Oberschlema	508	20,74 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 309	Oberschlema	405	19,98 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 310	Oberschlema	536	21,63 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 311	Oberschlema	511	20,85 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U
Schacht 312	Oberschlema	330	20,93 m <sup>2</sup>		Seismische Schächte	U

z.Zt. nich	Schacht 208W	Nieder- schlema Alberoda	860	23,2m <sub>2</sub>		Seismische Schäch- te	U
	Schacht 312	Nieder- schlema Alberoda	330	16,3m <sub>2</sub>		Seismische Schäch- te	U
	Schacht 365	Nieder- schlema Alberoda	426	12,2m <sub>2</sub>		Seismische Schäch- te	U
	Schacht 366	Nieder- schlema Alberoda	683	23,6m <sub>2</sub>		Seismische Schäch- te	U
	Schacht 371	Nieder- schlema Alberoda	1090	38,46 m <sup>2</sup>		Seismische Schäch- te	U
	Schacht 372	Nieder- schlema Alberoda	1075	38,46 m <sup>2</sup>		Seismische Schäch- te	U
	Schacht 373	Nieder- schlema Alberoda	1159	38,46 m <sup>2</sup>		Seismische Schäch- te	U
	Schacht 382	Nieder- schlema Alberoda	1441	28,26 m <sup>2</sup>		Seismische Schäch- te	U
	Schacht 383	Nieder- schlema Alberoda	1356	28,26 m <sup>2</sup>		Seismische Schäch- te	U
	Beust- Schacht	Schneeberg	376	10,5 m <sup>2</sup>		Ortho- magmatische Ent- stehung (Greisen), evt. Blockbruchbau	Ni
	Schacht 281	Niederschlag	328,4	14,8m <sub>2</sub>			U, BaSO <sub>4</sub> , CaF <sub>2</sub>
	Jugend- schacht	Schnecken- stein- Brunnböbra	375,4	12,5m <sub>2</sub>			U, BaSO <sub>4</sub>
	Schnecken- stein- schacht	Schnecken- stein- Brunnböbra	376,6	12,5m <sub>2</sub>			U, BaSO <sub>4</sub>
	Maischacht	Schnecken- stein- Brunnböbra	343,6	12,5m <sub>2</sub>			U, BaSO <sub>4</sub>
	Große Mal- wine	Annaberg	343,7	13m <sup>2</sup>			Pb/Zn/Cu/ Ag/Spat
	Apfel- schacht	Annaberg	448	15m <sup>2</sup>			Pb/Zn/Cu/ Ag/Spat
	Franken- schacht	Freiberger Revier	544	3,84m <sub>2</sub>		Kleiner Quer- schnitt, Bergschä- den in Freiberger	Pb/Zn/Cu/ Ag/Spat

					Revier	
Schacht 5	Oberschlema	294,2	10,7m <sub>2</sub>		Seismische Schächte, Oberflächennah kleiner Querschnitt	U
Schacht 5b	Oberschlema	56,6	8,4m <sup>2</sup>		Seismische Schächte, Oberflächennah, kleiner Querschnitt	U
Schacht 6	Oberschlema	282,4	7,96m <sub>2</sub>		Seismische Schächte, kleiner Querschnitt	U
Schacht 6c	Oberschlema	273	9,03m <sub>2</sub>		Seismische Schächte, Oberflächennah, kleiner Querschnitt	U
Schacht 7	Oberschlema	276	8,3m <sup>2</sup>		Seismische Schächte, kleiner Querschnitt	U
Schacht 7b	Oberschlema	278	12,2m <sub>2</sub>		Seismische Schächte, Oberflächennah	U
Schacht 14	Oberschlema	290	12,7m <sub>2</sub>		Seismische Schächte, Oberflächennah	U
Schacht 390	Königstein	298	7,5		Oberflächennah, Kleiner Querschnitt	U
Schacht 398	Königstein	306	5		Kleiner Querschnitt	U
Haupt-schacht	Halsbrücke (Beihilfe Grube)	580			Bergschäden	Pb/Zn/Cu/Ag/Spat
Ferdinand-schacht	Halsbrücke (Beihilfe Grube)	392	2,8*6,8		Bergschäden	
Zentral-schacht	Schönbrunn	515	10m <sup>2</sup> Oval/R echteck		Erlaubnisantrag	CaF <sub>2</sub>

Tabelle 7-3: Bewertung der Bergwerke und Schächte im Erzgebirge. /15/, /16/,/19/

## **8. Modellierung der unter- und übertägigen Situation**

Für die bergbauliche Planung und damit verbundenen wirtschaftlichen Fragestellungen war die Erstellung eines Hohlraummodells von entscheidender Bedeutung. Da die vollständige Abbildung der komplizierten untertägigen Sachverhältnisse mit zwei-dimensionalen Modellen nur eingeschränkt möglich ist, wurden unter Einbeziehung von Informationen aus den Archivrecherchen und in Verbindung mit der geologischen Situation für die zwei Modellbergwerke Grund und Pöhla 3D-Bergwerksmodelle erstellt.

Zunächst erfolgte eine detailgetreue Recherche aller benötigten Daten in den entsprechenden Archiven der jeweils zuständigen Bergbehörden und Landesvermessungsämtern. Als Bearbeitungsgrundlage stand danach eine Vielzahl von Altrissen zur Verfügung, die in digitale Form überführt und georeferenziert werden mussten. Auf Basis der georeferenzierten Risse im Rasterformat wurden die Grubenhohlräume digitalisiert und damit ins Vektorformat umgewandelt. Anschließend wurden die Höhen (bzw. die Teufen) der Grubenbaue aus den Profilrissen entnommen und in die entsprechenden GIS-Layer im Modell eingegeben. Durch eine senkrechte Extrusion (Dimensionserhöhung) entstand anhand dieser Informationen das 3D-Bergwerksmodell, das später als Grundlage für die bergbauliche Planung diente.

Ergänzend zu der untertägigen Situation musste auch die übertägige Situation im digitalen 3D-Modell erfasst werden. Anhand von Oberflächennutzungsdaten (u.a. Zuwege, Wohnbau- und Naturschutzgebiete, Fließgewässer), hochauflösenden Luftbildern und einem Digitalen Geländemodell (DGM) wurde ein sogenanntes Digitales Oberflächenmodell (DOM) erstellt, das die topographische Situation in der Nähe von den Bergwerken widerspiegelt.

Die Darstellung der übertägigen Situation in Verbindung mit den untertägigen Hohlräumen war nicht nur für die rechtlichen und ökologischen Fragestellungen von Bedeutung. Das DOM diente auch als Bearbeitungsgrundlage für die Trassenplanung. Darüber hinaus konnte anhand des DGMs und dem vorgegebenen Böschungswinkel die Volumenkapazität bestehender Halden berechnet werden.

Als Modellierungswerkzeug wurde die Software ArcGIS von der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute) eingesetzt.

## 9. Das Modelbergwerk Grund

### 9.1 Allgemein

Das ehemalige Erzbergwerk Grund wurde wegen der vorhandenen tiefen Schächte und des relativ guten Gebirges gewählt. In dem Verbundbergwerk Grund, gelegen in dem heutigen Kurort Bad Grund, befand sich die letzte produzierende Metallerzgrube des Harzes und ist 1,5 km von der B242 entfernt. Die Lagerstätte war zuletzt durch vier Tagesschächte erschlossen/11/. Das Bergwerk im Bereich des Wiemannsbuchtschachtes ist aufgrund des ziemlich standfesten Nebengebirge und relativ tiefen Schachtes zur Errichtung eines PSWuT ausgewählt worden( siehe Abbildung 9-1).

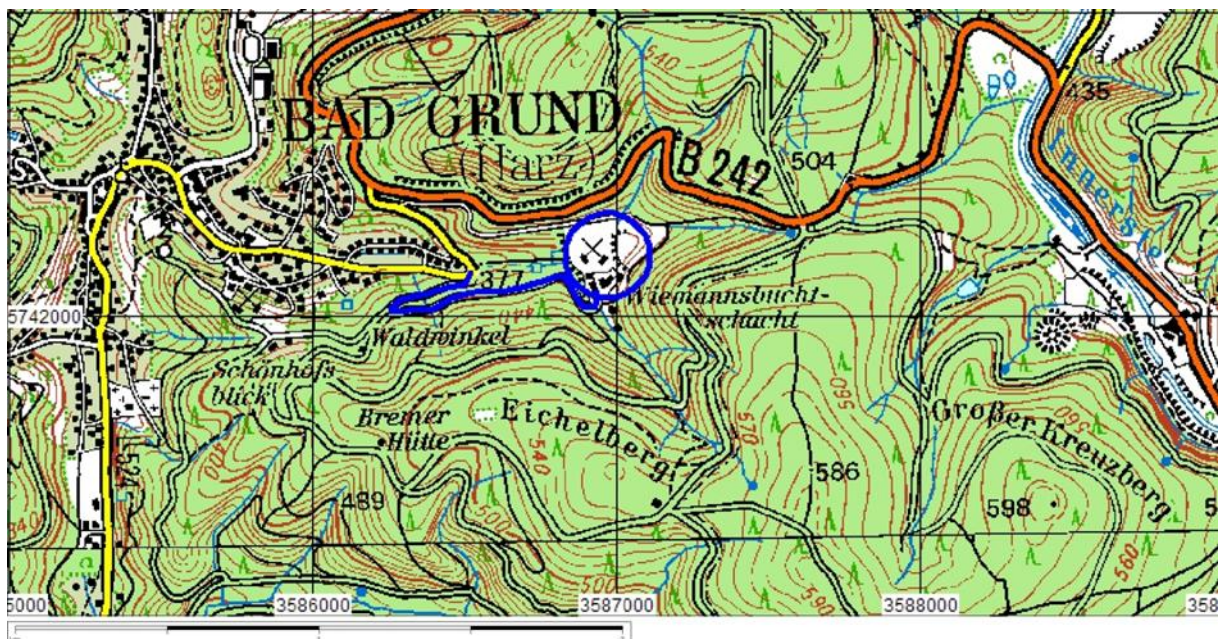


Abbildung 9-1: Lage des Wiemannsbuchtschachtes und der Zuwegung

### 9.2 Situationsbeschreibung

Das Erzbergwerk Grund ist ein Verbundbergwerk, entstanden durch die Zusammenlegung der früher selbstständigen Gruben Hilfe Gottes im Westen und Bergwerkswohlfahrt im Osten, was ebenfalls zu einer unterschiedlichen Benennung der Sohlen im West- und im Ostfeld geführt hat. Das Grubengebäude erstreckt sich in West-Ost-Richtung über eine Länge von fast 5 km. /11/



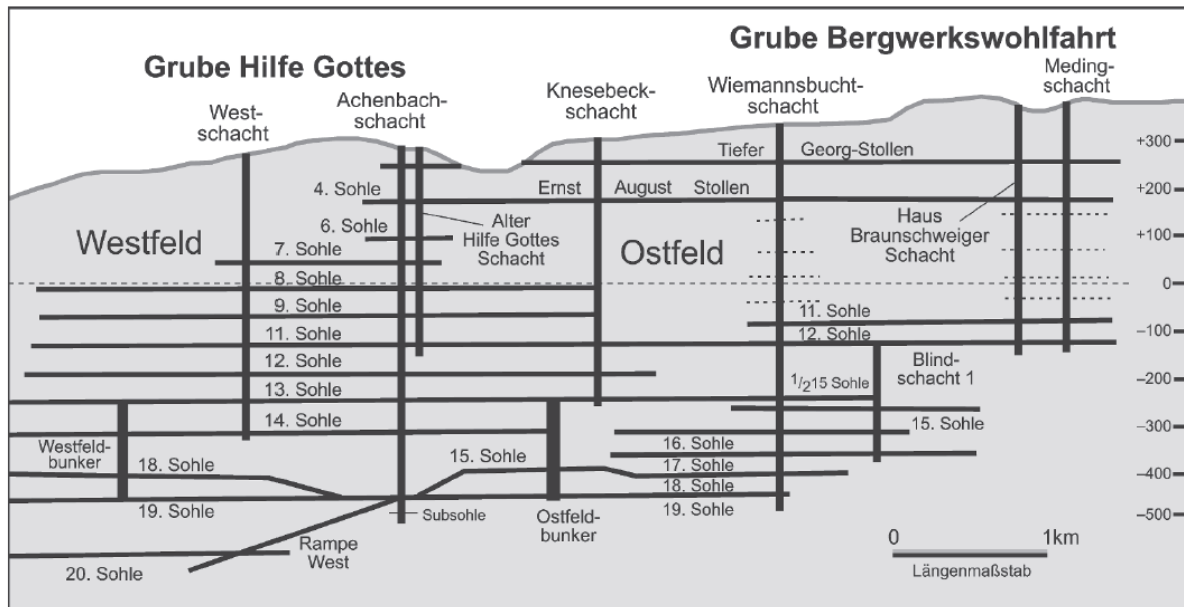


Abbildung 9-2: Stark überhöhter schematischer Seigerriss des Erzbergwerks Grund (Schnitt durch das Gruben-  
gebäude längs des Hauptganges)/11/

Das Betriebsgelände mit dem Wiemannsbuchtschacht grenzt, wie auch der Ort Bad Grund, an das Landschaftsschutzgebiet Osterode. Nördlich und östlich des Wiemannsbuchtschachtes befinden sich außerdem die Trinkwasserschutzgebiete „Magdeburger Stollen“ und „Innerstetalsperre“. Im Nordwesten, etwa 1km vom Betriebsgelände entfernt (Richtung Nordwesten), liegt das Vogelschutz- und Flora-Fauna-Habitat-Gebiet Iberg (siehe Abbildung 9-4).

Nach Betriebsende 1992 wurden die ehemaligen Betriebsgebäude und -anlagen nicht zurückgebaut und stehen heute unter Denkmalschutz (siehe Abbildung 9-3).



Abbildung 9-3: Ehemaliges Betriebsgelände Wiemannsbuchtschacht mit Fördermaschinenhaus (links) sowie Schachtgerüst und Schachthalle mit Sozialtrakt (Mitte)

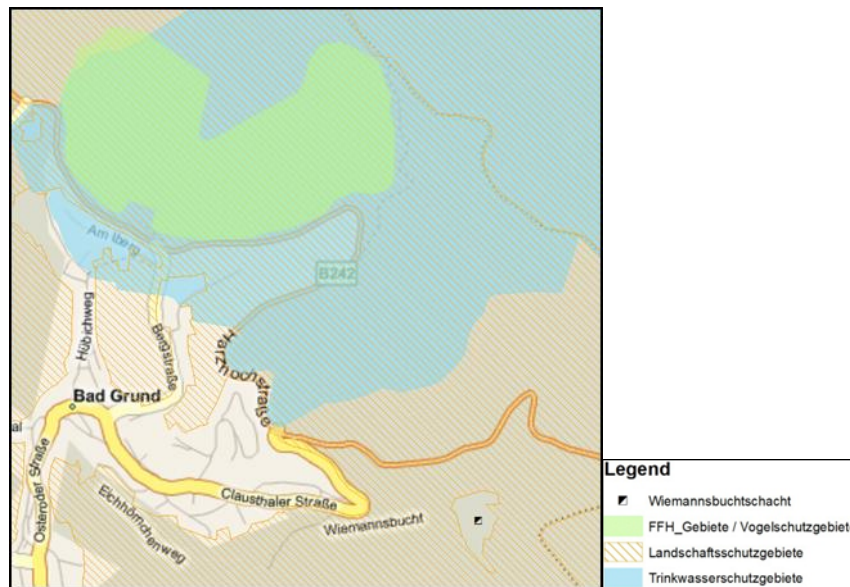


Abbildung 9-4: Übertägige Situation in Bad Grund /24/

### 9.2.1 Halde

Direkt neben dem Betriebsgelände befindet sich eine nach der Stilllegung des Erzbergwerkes weitestgehend renaturierte Betriebshalde mit einem Gesamtvolumen von 0,5 Mio. m<sup>3</sup>. Diese gehört mittlerweile mit zum Landschaftsschutzgebiet Osterode. In diesem Projekt wird mit einem Abraumvolumen von 1 Mio. m<sup>3</sup> gerechnet. Diese Halde eignet sich nicht für den gesamten Abraum.

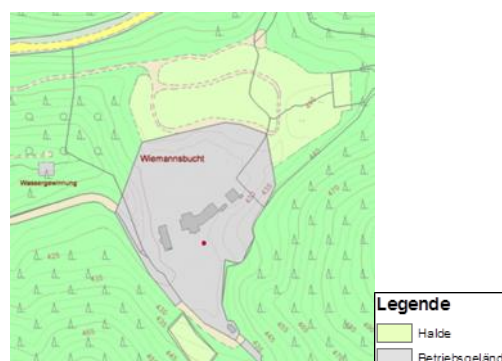


Abbildung 9-5: Lage der Halde

### 9.2.1 Verwahrung

Im Jahre 1992 stellte das von der Preussag-AG Metall betriebene Erzbergwerk Grund (EBG) seine Förderung ein. Nach der Stilllegung wurde das Erzbergwerk Grund verwahrt, d.h. die Zugänge zum ehemaligen Bergwerk wurden meist durch Mauerwerk oder Betonplom-



ben verschlossen/11/. Das Bergwerk selbst wurde kontrolliert geflutet. Der Wasserpegel steht derzeit bis zu dem Niveau des Ernst-August-Stollens, da dieser weiterhin in Funktion ist und somit die anfallenden Grubenwässer aus dem Berg herausgeleitet.

### **9.2.2 Abbau**

In dem Erzbergwerk Grund auf dem westlichen Abschnitt des Silbernaaler Gangzuges wurden zink- und silberreiche Bleierze mit seinen Begleitzügen gewonnen. In diesem Bergwerk wurde über einen längeren Zeitraum für die Dachbehandlung der Bruchbau eingesetzt. Zu Beginn der Abbautätigkeit in Bad Grund wurden die Erze im Strossenbau gewonnen. Im 19. und 20. Jahrhundert erfolgte der Übergang zum Firstenstoßbau. Bei beiden Abbaufahren wurde Versatz eingebracht. Dieser diente dem Stützen des Gebirges und somit dem Offenhalten des Abbauhohlraumes /11/

### **9.2.3 Grubengebäude**

Das Erzbergwerk Grund im Bereich des Wiemannsbuchtschachtes (Grube Bergwerkswohl-fahrt) verfügt über 15 Sohlen.

Die Wiemannsbuchtschacht- Tagesöffnung liegt auf einem Niveau von 425 m ü.NN. Der Schacht weist eine Länge von 761 m auf und reicht bis zum Niveau der 19. Sohle (-337 m ü.NN).

Der Tiefer-Georg-Stollen befindet sich auf einer Teufe von rund 134 m. Der Wiemannsbuchtschacht ist bis zu diesem Niveau mit Beton verfüllt.

Die Teufe der ersten Sohle im Erzbergwerk Grund liegt bei ca.186 m und liegt zwischen dem Ernst-August-Stollen und dem Tiefer-Georg-Stollen.

Der Ernst-August-Stollen hat eine Teufe von ca. 227 m und ist durch eine ca. 100 m lange Strecke mit der Ernst August Stollen verbunden. Dieser Stollen diente im Laufe der Betriebszeit als Wasserlösungsstollen für den Bergwerksbetrieb.

Bereiche, die bei der Betrachtung besondere Beachtung fanden, sind zum einen der Wiemannsbuchtschacht, der Tiefer-Georg-Stollen und der Ernst-August-Stollen als Wasserlösungsstollen des Grubenreviers sowie zum anderen die 6km lange 19. Sohle sowie die 18. Sohle. Der Wiemannsbuchtschacht liegt ca. 1km östlich von Bad Grund, etwas versteckt im Tal (unterhalb der B 242) und ist 761m tief. Dieser Schacht wurde erst 1951 abgeteuft und diente zuletzt als Material- und Bergeschacht. Das Schachtgerüst ist erhalten.

Die charakteristischen Daten des Schachtes sind in Tabelle 9-1 aufgelistet.

Merkmal	Beschreibung
Teufe	761m
minimaler Durchmesser des Schachtes	3,5m
Ausbau des Schachtes	Beton
Einbauten im Schacht	Führungseinrichtungen, Rohre, Kabel
tiefste nutzbare Sohle (19. Sohle)	717m
mittlere Fallhöhe	700m
Wasserzufluss im Gebirge	ca. 42 l/s (im gesamten ehemaligen Bergwerk)
derzeitiger Zustand des Schachtes	Verschluss mit Betonplombe vom Tage aus; Länge der Plombe: 129m
Tagesanlagen	Fördergerüst mit Schachtgebäude und Sozialtrakt, Maschinenhaus mit Fördermaschine, Verwaltungsgebäude
Sonstiges	über Tage: Anlagen in Privatbesitz, Zuwegung ist asphaltiert, jedoch nur bedingt für den Schwerlastverkehr geeignet; unter Tage: „herrenlos“, für das Gelände besteht ein Bebauungsplan

Tabelle 9-1: Charakteristische Daten des Wiemannsbuchtschachtes

Die Abbildung 9-6 soll zur Veranschaulichung der Verhältnisse im Bereich des Wiemannsbuchtschachtes unter Tage dienen.

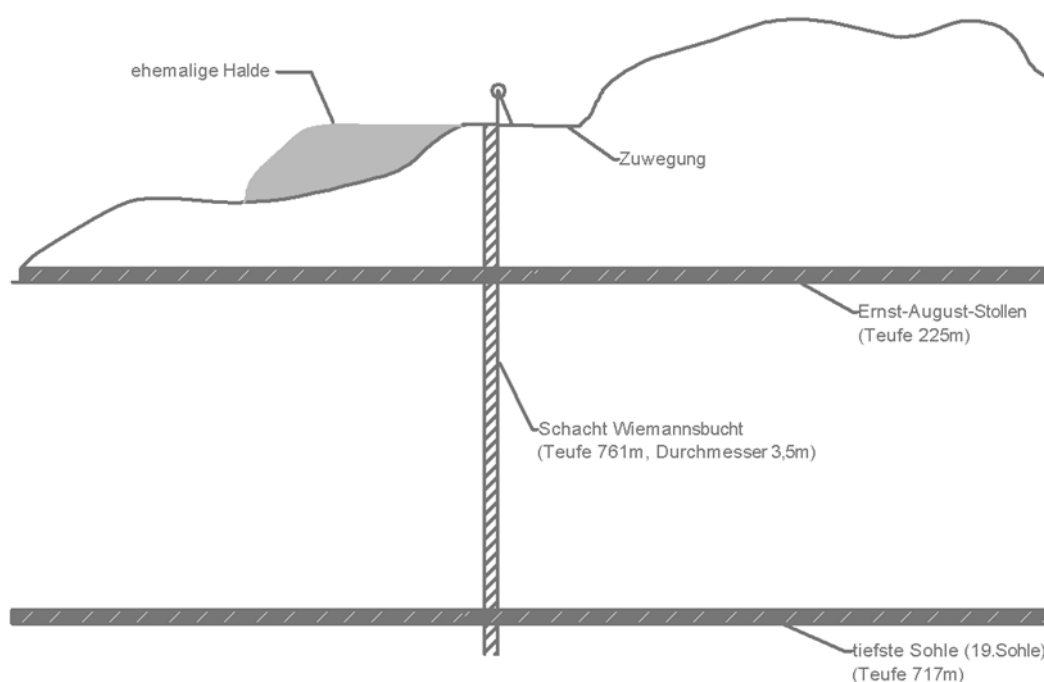


Abbildung 9-6: Schematische Darstellung des Wiemannsbuchtschachtes unter Tage

### 9.3 Modellierung mit ArcGis

Trotz umfangreicher Datenlage standen nicht alle erforderlichen Daten für die Modellierung zur Verfügung. Es fehlte beispielsweise der größte Teil der Risswerke. Aus diesem Grund konnten die Abbaufelder nicht detailliert erfasst werden. Diese wurden mithilfe der Informationen über die abgebauten Erzgänge mit dem dazugehörigen Einfallswinkel räumlich modelliert.

Weiterhin wurden die geologischen Störungszonen sowie die sich als Störung erwiesene Iberg-Kalksteinzone im Modell dargestellt.

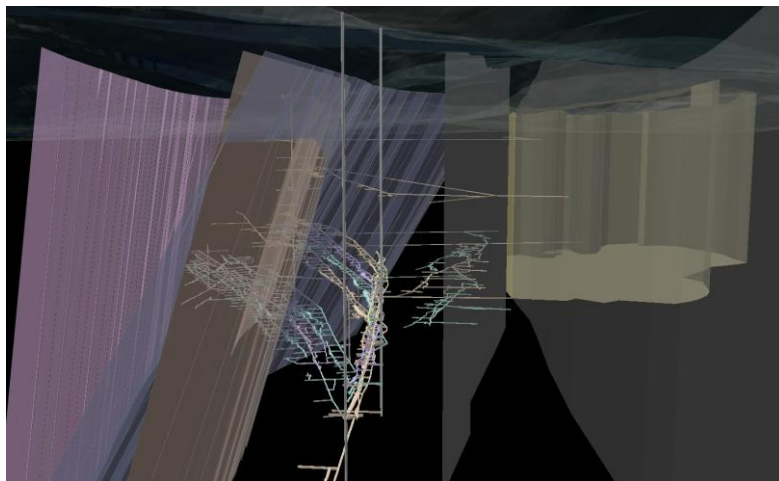


Abbildung 9-7: Das Grubengebäude Bergwerkswohlfahrt des Erzbergwerks Grund mit den Erzgängen und Störungszonen

Zur detaillierten Beschreibung der übertägigen Situation in Bad Grund wurde ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) erstellt. Auf Basis von topografischen Karten wurden zunächst die Zuwege, das Betriebsgelände einschließlich der Halde sowie die alten Bergwerksgebäude abgebildet. Anschließend wurden die abgebildeten topografischen Objekte in das Digitale Geländemodell (DGM) integriert und somit das DOM erstellt.

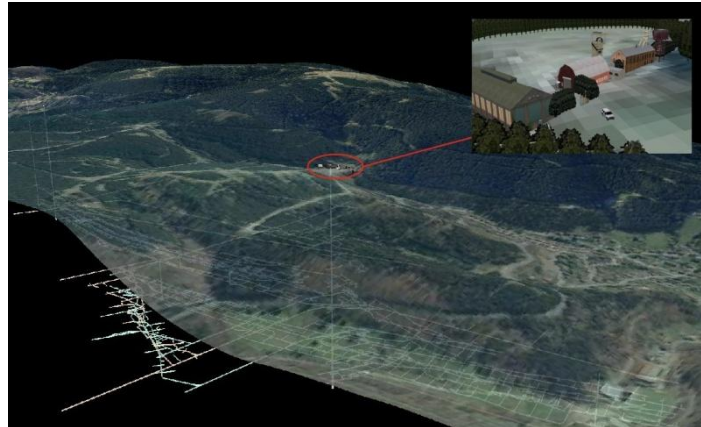


Abbildung 9-8: Digitales Oberflächenmodell (DOM) Bad Grund

## 9.4 Planung mit Vulcan

Die Visualisierung des PSWuT- Konzeptes wurde mithilfe der Bergbauplanungssoftware Vulcan der Firma Maptek Pty Ltd. erstellt.

### 9.4.1 Einführung

„Vulcan“ wurde ursprünglich für die Bergbauindustrie entwickelt und besteht aus zahlreichen Modulen, die Design, Planung und Zeitablauf aller Arbeitsschritte im Bergbau unterstützen. Weiterhin ist die Software für zahlreiche Varianten räumlicher Modellierung einsetzbar. Eines der Haupteinsatzgebiete von Vulcan ist die Planung eines über- und untertägigen Abbaubetriebes. Im Rahmen dieses Projektes sollen zwei Ausführungen eines PSWuT- Konzeptes Berücksichtigung finden. Die eine Variante ist für eine Betriebsdauer von vier Stunden ausgelegt, die andere für eine zweistündige Betriebsdauer. Bei einer gleichen erzielbaren Leistung besteht der wesentliche Unterschied in ihrem verfügbaren Speichervolumen (siehe Teilbericht Maschinentechnik und Elektrotechnik).

### 9.4.2 PSWuT- Konzept: Vier -Stunden -Betrieb

Zu Beginn der Planungsarbeiten wurde nach einer geeigneten Lage für die Speicherbecken und die Maschinen-Trafokaverne gesucht. Die Zielstellung bestand darin, möglichst große Speicherbecken mit maximal realisierbaren Fallhöhen errichten zu können – jedoch unter der Bedingung, die Auffahrung neuer Hohlräume und Zugänge minimal zu halten. Darüber hinaus schränkten weitere zu berücksichtigende Faktoren die Auswahl einer geeigneten Lage deutlich ein. Zu dem alten Abbaugbiet, zu den großen Störungen sowie zu den Schutzgebieten musste ein Mindestabstand von 100 m eingehalten werden. Der Ver-

lauf der Hauptstörungen und deren Einfluss auf die Stabilität des Speicherbeckens bzw. die Maschinen-Trafokaverne wird im Teilbericht Geomechanik ausführlich beschrieben. (siehe Teilbericht Geomechanik)

Die Abbildung 9-9 zeigt die Lage der einzelnen Komponenten des PSWuT.

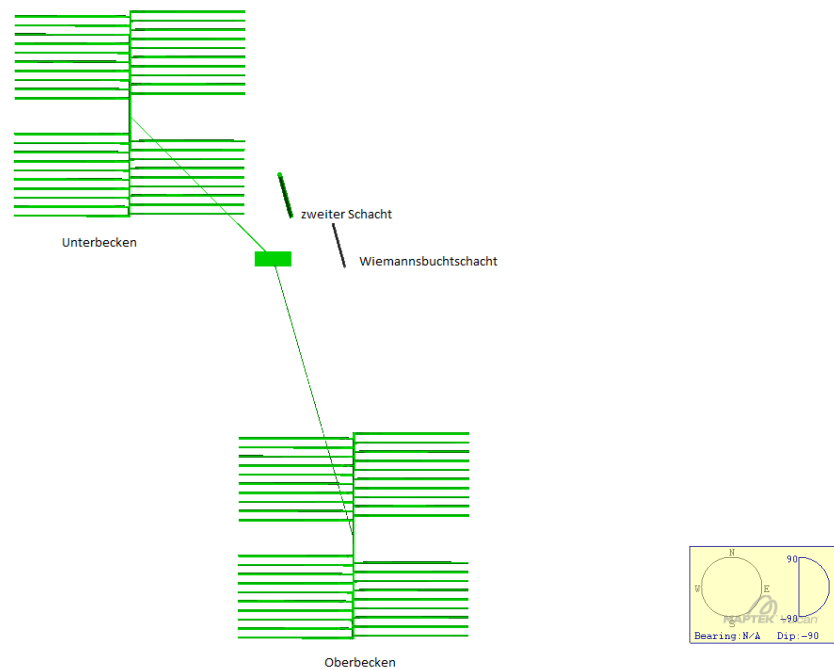


Abbildung 9-9: Grundriss des PSWuT

#### 9.4.2.1 Geometrie der Speicherbecken

Die Speicherbecken bestehen aus 39 Speicherstrecken, die jeweils 250 m lang sind, sowie einer Sammelstrecke von 510 m Länge. Die Speicherstrecken werden mit einer Neigung von 9-10 % an die Sammelstrecke angeschlossen. Die ersten 50 m der Speicherstrecke werden geneigt und die übrigen 200 m söhllich aufgeföhren (siehe Abbildung 9-10). Aus strömungs- und gebirgsmechanischen Gründen wurde diese Geometrie für die Becken ausgewählt, damit die Fließgeschwindigkeit des Wassers in der Sammelstrecke beherrschbar ist. Es wird dabei angestrebt, dass die Sammelstrecke und ein Teil der Speicherstrecke immer mit Wasser gefüllt bleiben. Mit einem Gesamtvolumen von 307.800 m<sup>3</sup> wird ein Nutzvolumen von mindestens 240.000 m<sup>3</sup> zur Verfügung gestellt, da wegen der Geometrie der Becken das Gesamtvolumen nicht vollständig nutzbar ist. Die strömungsmechanischen Berechnungen werden in dem Unterkapitel Strömungssimulation näher betrachtet.

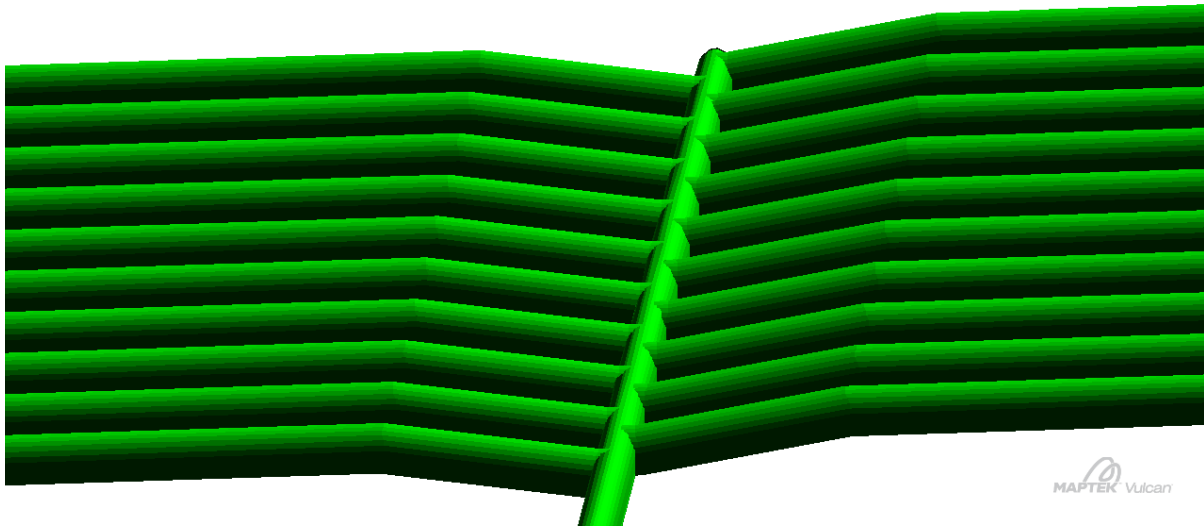
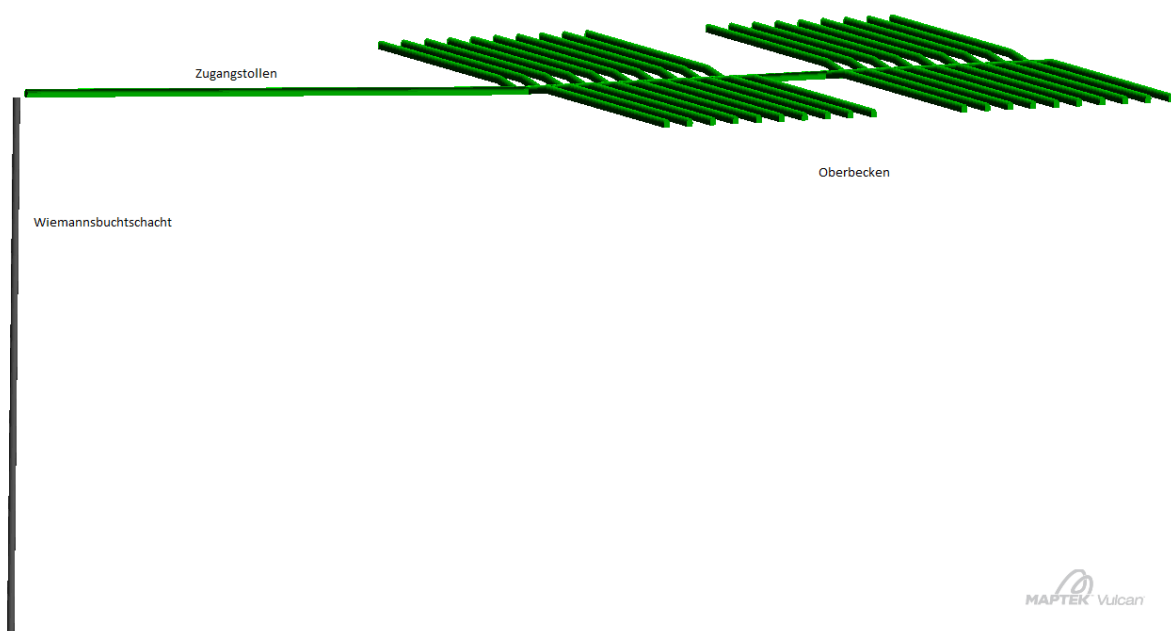
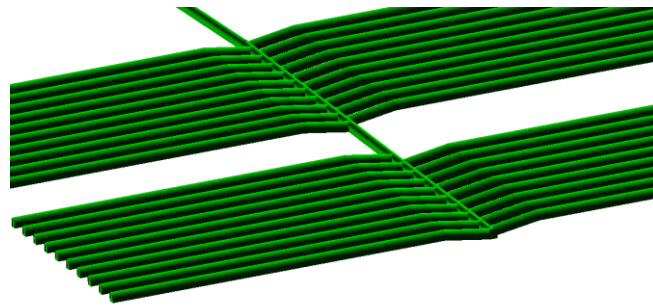


Abbildung 9-10: Geometrie der Becken

#### 9.4.2.2 Oberbecken

Als Zugang für das Oberbecken wird ein Schrägstollen aufgeföhren. Der Ansatzpunkt dieser Strecke liegt 30 m südlich des Wiemannsbuchtschachtes. Dieser Stollen weist eine Länge von 450 m und eine Neigung von 5% auf. Der Zugangsstollen wird mit einem Querschnitt von 30 m<sup>2</sup> aufgeföhren. Das Oberbecken liegt auf einem Niveau von 400 m ü.NN.



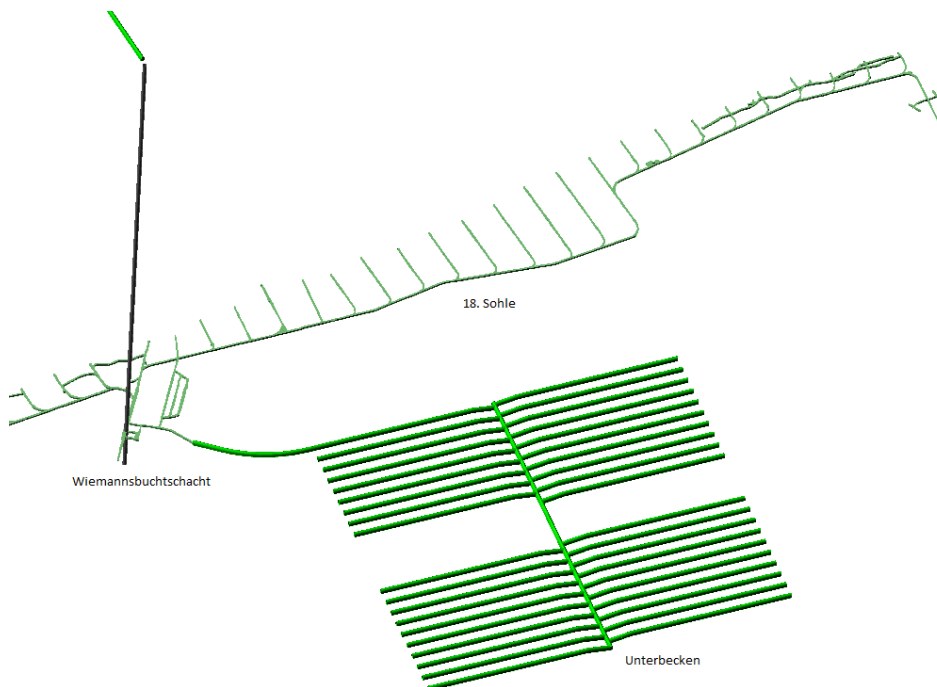


MAPTEK Vulcan

Abbildung 9-11: Raumbild des Oberbeckens- Erzbergwerk Grund

### 9.4.2.3 Unterbecken

Das Unterbecken wird mit einer gleichen Geometrie wie das Oberbecken aufgeföhren. Das Oberbecken liegt auf dem Niveau der 18. Sohle (-275 m ü.NN). Als Zugang zum Unterbecken muss die 18. Sohle um weitere 150 m erweitert werden. Bei der Aufföhhrung der Zugangsstrecke werden scharfe Kurven vermieden, um mögliche Engpässe für die großen Bergbaumaschinen zu minimieren.



MAPTEK Vulcan

Abbildung 9-12: Raumbild des Unterbeckens- Erzbergwerk Grund



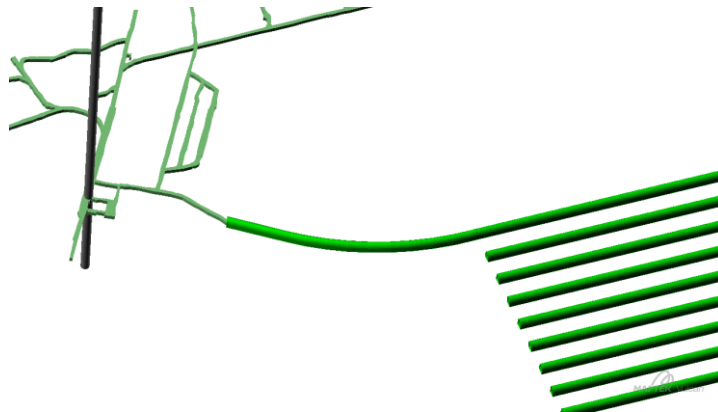


Abbildung 9-13: Raumbild des Zugangs zum Unterbecken- Erzbergwerk Grund

#### 9.4.2.4 Maschinen-Trafokaverne

Die Maschinen-Trafokaverne wird auf der 19. Sohle (- 312 m. NN)aufgefahren. Die Dimensionierung der Kaverne beträgt  $79\text{m} \times 21\text{m} \times 29\text{m} = 48111 \text{ m}^3$ . Aus Gründen der Arbeitssicherheit verfügt die Maschinen-Trafokaverne über zwei separate Zugänge. Die Zugangsstrecken liegen ca. 15 m höher als das Sohlenniveau der Kaverne, damit im Falle einer Havarie in Form eines Wasseraustrittes aus dem Maschinensatz dem Personal ausreichend Zeit zur Verfügung steht, die Kaverne zu verlassen bevor die Zugänge von dem Ereignis betroffen sind. Die Zugänge sind in der Abbildung 9-14 dargestellt.

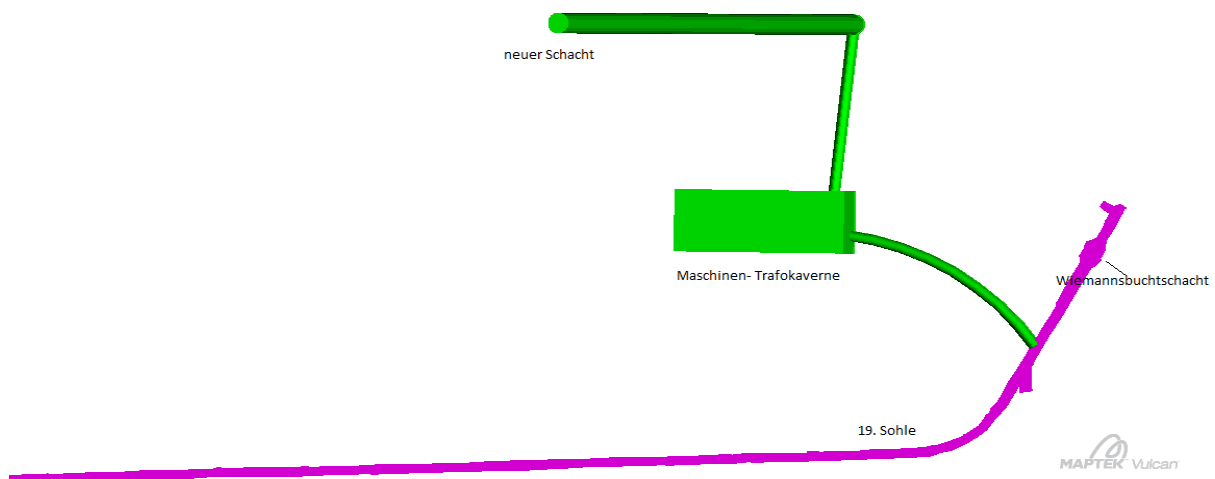


Abbildung 9-14: Maschinen-Trafokaverne - Draufsicht

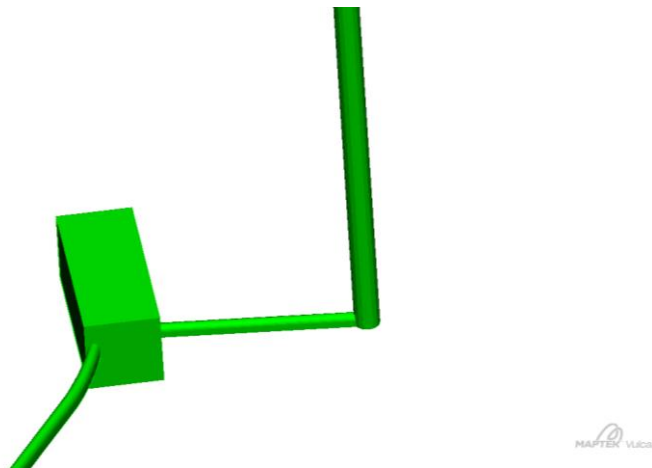


Abbildung 9-15: Zugänge zu der Maschinen-Trafokaverne

#### 9.4.2.5 Druckschächte

Das PSWuT- Konzept verfügt über zwei Druckschächte. Der eine verbindet das Oberbecken mit der Maschinen-Trafokaverne und der andere verläuft zwischen dem Unterbecken und der Maschinen -Trafokaverne. Die Druckschächte im Modellbergwerk Grund sind in der Abbildung 9-16 dargestellt.

Der Druckschacht zwischen der Maschinen-Trafokaverne und dem Oberbecken ist ca. 1000 m lang und weist eine Neigung von ca.  $44^\circ$  auf, damit ein Höhenunterschied von ca. 700 m erzielt wird.

Der lichte Durchmesser des Druckrohrs in dem Druckschacht beträgt ca. 2 m. Der Druckschacht wird selber wegen dem Betonausbau mit einem Durchmesser von 3 -3,5 m abgeteuft. Die Eigenschaften des Druckschachtes sind in dem Teilbrich Maschinentechnik aufgeführt.

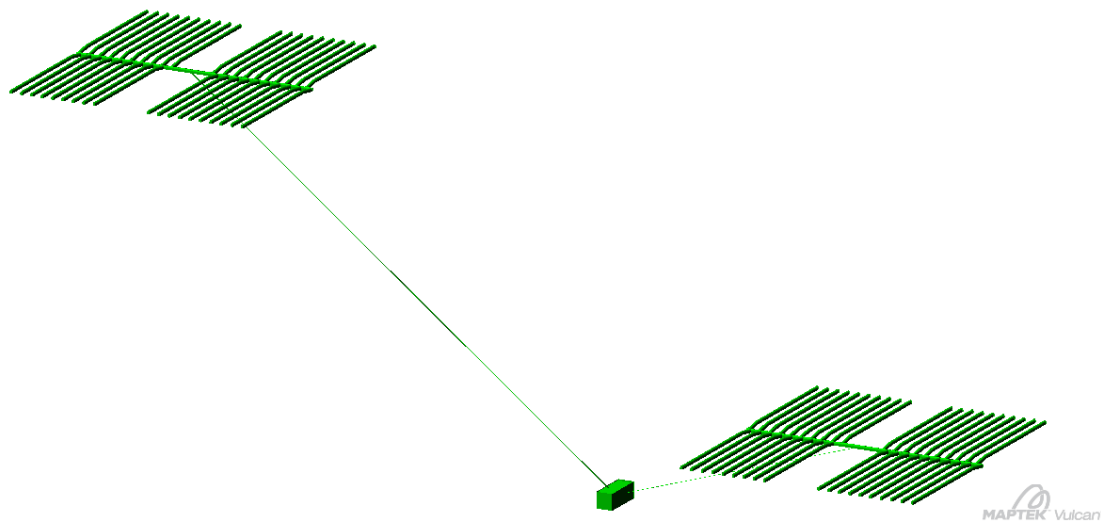


Abbildung 9-16: Druckschächte im Modellbergwerk Grund

#### 9.4.3 PSWuT- Konzept: Zwei -Stunden -Betrieb

Als zusätzliche Variante wird im Rahmen dieses Projektes eine Betriebsdauer von zwei Stunden zur Berücksichtigung der Wasserschutzgebiete (siehe Abbildung 9-4) betrachtet. Das Speicherbecken besteht in diesem Fall aus 20 Speicherstrecken und einer Sammelstrecke, die jeweils 250 m lang sind. In der Abbildung 9-17 ist das Konzept bei Anwendung eines Zwei-Stunden-Betriebes dargestellt.

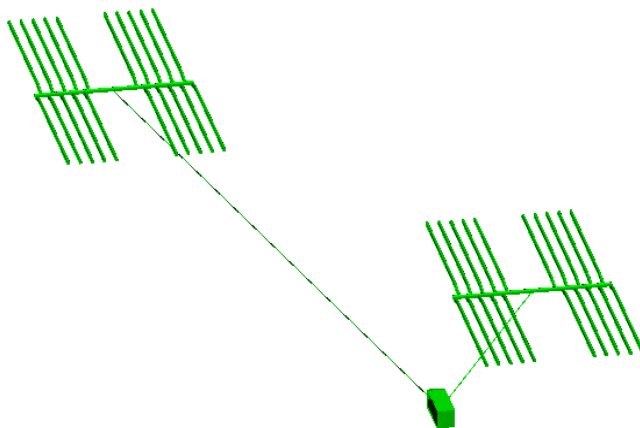


Abbildung 9-17: PSWuT-Konzept: Zwei-Stunden-Betrieb

## 9.5 Bergbauliche Maßnahmen während der Bauphase

Während der Bauphase des PSWuT sind diverse bergbauliche Maßnahmen erforderlich, die in den folgenden Kapiteln aufgeführt werden:

### 9.5.1 Öffnen des Bergwerks

Der Wiemannsbuchtschacht ist bis zu dem Niveau des Tiefer-Georg-Stollens (ca. 129 m Tiefe) mit Beton verfüllt. Diese Betonplombe kann durch die Anwendung klassischer Schachtteufverfahren bspw. im konventionellen Verfahren mittels Bohr- und Sprengarbeit durchörtert werden.

### 9.5.2 Trockenlegung des Bergwerks

Es wird vermutet, dass sich ca. 0,5 Mio. m<sup>3</sup> der prinzipiell zur Verfügung stehenden Hohlräume im gefluteten Zustand befinden. Der Wasserstand erreicht dabei das Niveau vom Ernst-August-Stollen (+ 200 m ü. NN). Zum Errichten eines PSWuT in diesem Bergwerk ist es notwendig, das gesamte Bergwerk zu entwässern bevor mit den bergbaulichen Arbeiten für das Unterbecken und die Maschinen-Trafokaverne begonnen wird. Eine Entwässerung kann bspw. durch den Einsatz einer Kreiselpumpe mit einer Leistung von 600 kW erfolgen. Dabei dauert die Entwässerung, im Bergbau auch Sumpfen genannt, ca. 1,5-2 Monate (siehe Teilbericht Elektrotechnik).

### **9.5.3 Verwahrung**

Die zu nutzenden Hohlräume im Erzbergwerk Grund werden nach der Entwässerung saniert. Hierbei handelt es sich um die 18. und 19. Sohle sowie den Wiemannsbuchtschacht, die im Rahmen der Sanierung vor der Errichtung des PSWuT bei Bedarf ausgebaut werden.

### **9.5.4 Auffahrung**

Die Speicherbecken (Ober- und Unterbecken) sowie die Maschinen- und Trafokaverne werden vollständig neu aufgefahren. Die Geometrie der Becken ist für eine maschinelle Auffahrung nicht geeignet. Beispielsweise würde sich der Einsatz von Teilschnittmaschinen aufgrund der kurzen geneigten Speicherstrecken sehr unwirtschaftlich gestalten. Daher wird in diesem Projekt eine konventionelle Auffahrung der Strecken mittels Bohr- und Sprengarbeit in einer gebirgsschonenden Weise bevorzugt, welche eine langjährige Nutzung der Hohlräume gewährleistet. Aufgrund der Erschütterung während der Sprengung soll ein ausreichender Abstand zu Wohngebieten Berücksichtigung finden.

Für die Auffahrung wird eine Abschlagslänge von 3 m bei einem Bohrlochdurchmesser von 45 mm vorgeschlagen. Der spezifische Sprengstoffverbrauch für den Gesteinstyp (siehe Teilbericht Geomechanik) wird maximal auf 2500 g/m<sup>3</sup> geschätzt. Daraus ergibt sich eine Lademenge pro Abschlag von 222,75 kg. Bei einem regulären Sprengvortrieb mit einem Querschnitt von 30 m<sup>2</sup> wird mit einer Anzahl von ca. 90 Bohrlöchern gerechnet.

### **9.5.5 Schachtabteufen**

Da für den Bau eines untertägigen PSW aus Bewetterungs- und Sicherheitsgründen ein Schacht nicht ausreichend ist, muss im Erzbergwerk Grund mindestens ein zusätzlicher Schacht abgeteuft werden, welcher als ausziehender Wetterschacht, zur Seilfahrt und ggf. Kabelführung genutzt werden kann. Abhängig von dem Zweck des neuen Schachtes wird ein Schachtdurchmesser von 2-4 m vorgeschlagen. Die Anwendung des Raise-Bore-Verfahrens in Form einer niederzubringenden Zielbohrung als Vorbohrloch von oben nach unten und anschließender aufwärtsgerichteter Erweiterung von unten nach oben wird für das Erstellen der Druckschächte sowie des zweiten Schachtes wegen der vorhandenen Unterfahren vorgeschlagen.

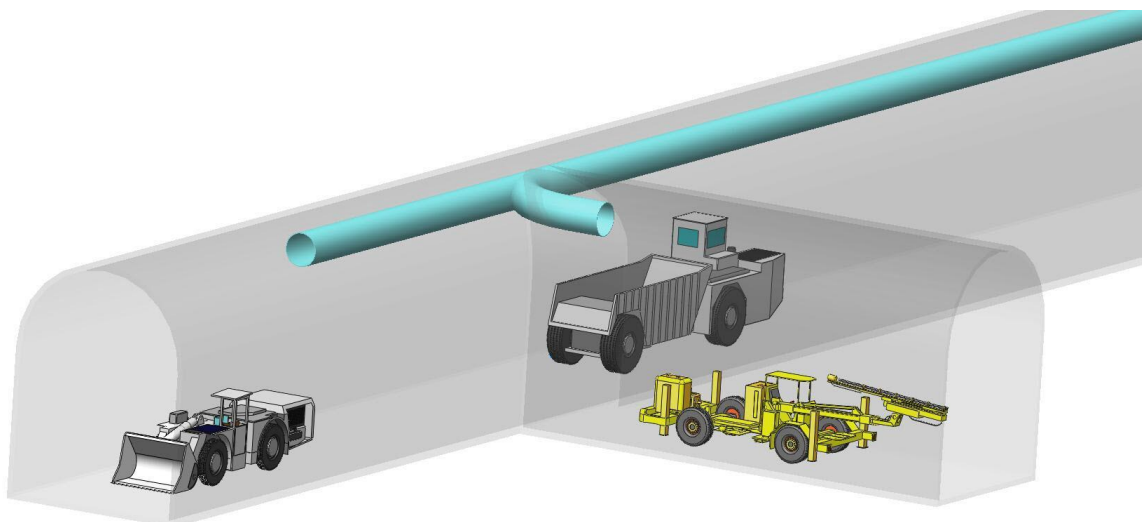
### **9.5.6 Fördertechnik und Logistik- Oberbecken**

Zur Gestaltung der Fördertechnik bieten sich prinzipiell zwei Möglichkeiten an. Hierbei handelt es sich zum einen um die Abförderung mittels eines diskontinuierlich betriebenen Muldenkippers sowie zum anderen um die Abförderung mittels einer kontinuierlichen Gurtbandförderung.

#### **9.5.6.1 Abförderung mittels Muldenkipper**

Im Rahmen dieser Variantenbetrachtung erfolgt die Abförderung anhand eines diskontinuierlich fördernden Muldenkippers. Die einzusetzenden Fahrlader fördern dabei das Haufwerk bis zur Sammelstrecke, während der Abtransport des Haufwerks in der Sammelstrecke durch einen Muldenkipper erfolgt. Um die Vortriebsgeschwindigkeit zu erhöhen, soll an zwei Orten gleichzeitig gearbeitet werden, so dass während in dem einen Ort gebohrt und besetzt wird, zeitgleich in dem zweiten Ort die Haufwerksförderung erfolgt.

Die Errichtung des Streckennetzes könnte dabei wie nachfolgend beschrieben erfolgen. Die Sammelstrecke wird zunächst vollständig aufgefahren; im Anschluss erfolgt die Auf-fahrung der seitlich angrenzenden Speicherstrecken, wobei seitenweise vorgegangen werden soll. Die Vorgehensweise ist in der Abbildung 9-18 dargestellt.



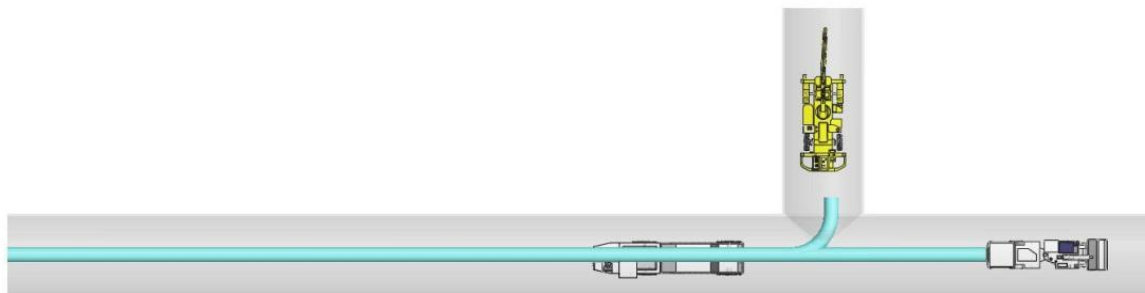


Abbildung 9-18: Darstellung der Auffahrung im Oberbecken

### Maschinenkette

Die folgende Maschinenkette wird für die Auffahrung der Strecken vorgeschlagen.

Für die Auffahrung der Strecken wird die in der Tabelle 9-2 aufgeführte Maschinenkette vorgeschlagen.

Maschine	Anzahl	Modell	Kapazität [ton]	Antrieb	Leistung [kW]	Dimension L*B*H [m³]
Fahrlader	2	GHH- LF-4.5, Seitenkipper	4-4,5	Diesel	86- 107	7.3*1,8* (1,8- 2,2)
Bohrwagen	1-2	Sandvik DD 420- 60	-	Elektrohy- draulisch	110	
Muldenkipper	2	GHH- MK-A20.1	20	Diesel	136- 170	8,6*2,2*2,5
Bühnenfahrzeug	2	HFH- Orion III	-	Diesel	125	6*8,15*2,6

Tabelle 9-2: Maschinenkette für die Auffahrung der Strecken im Oberbecken (Variante 1)

### Dimensionierung

Die Anzahl der notwendigen Maschinen werden über die Berechnung der Arbeitszyklen und unter dem Aspekt der Wartezeitenminimierung bestimmt.

### Berechnung des Fahrladerzyklus

GHH- LF-4.5, Seitenkipper

max. Fahrweg 250 m



Fahrgeschwindigkeit 15 km/h (Vorwärts sowie Rückwärts)

<b>Arbeitsschritt</b>	<b>Dauer [min]</b>
Einfahrzeit	1
Beladen	1
Ausfahrzeit	1
Entladen	1
Wartezeit	1
Summe	5

### **Berechnung des Muldenkipperzyklus**

Beladezeit: 20 ton / 4 ton  $\approx$  5 Fahrladerzyklus pro Muldenkipper (MK)

Fahrzeit: einfache Fahrt: 1 km bis zur Halde/ 15 km/h  $\approx$  4min; Hin- und Rückfahrt: 4 min  
\*2  $\approx$  8 min

Muldenkipperanzahl= Fahrzeit MK / Beladezeit MK = 8 min/ 25 min + 1  $\approx$  2 MK

<b>Arbeitsschritt</b>	<b>Dauer [min]</b>
Fahrzeit	2 * 4 = 8
Beladezeit	5 * 5 = 25
Entladezeit	2
Summe	35

### **Berechnung des Bohrzyklus**

90 Bohrlöcher ( $\varnothing$  45 mm \* 3 m Länge = 270 m pro Abschlag)

Bohrgeschwindigkeit 1 m/min

Fahrgeschwindigkeit 4,5 km/h geneigt -10 km/h flach

Besetzen  $\approx$  180 min

Arbeitsschritt	Dauer [min]
Einfahrt	4
Bohrzeit	270
Besetzen	180
Standzeit	4
Ausfahrt	4
Summe	460

## Betrieb

Es wird ein Dreischichtbetrieb mit jeweils acht Stunden vorgeschlagen. Die Arbeitsschritte in den jeweiligen Schichten sind im Folgenden aufgelistet.

### Schicht 1

Bohren und Besetzen  $\approx$  8 Stunden

### Schichtwechsel

Sprengen

### Schicht 2

Sprenggas auslassen  $\approx$  30 min

Berauben  $\approx$  30 min

Laden  $\approx$  5 Stunden

ggf. Ankern und Spritzbeton  $\approx$  150 min

### Schicht 3

Bohren und Besetzen  $\approx$  8 Stunden

## **Sonn- und Feiertage**

Wartung und Reparatur

## **Vortriebsgeschwindigkeit**

Aus den vorherigen Berechnungen ergibt sich eine Vortriebsgeschwindigkeit von drei Abschlügen pro Tag = 9 m/d

- mit 30 m<sup>2</sup> Querschnitt resultiert ein Volumen von 270 m<sup>3</sup>

- Volumen (270m<sup>3</sup>)\* Dichte(ca. 2.6 t/m<sup>3</sup>)= Masse (700t)pro Tag

- daraus resultieren 35 Muldenkipperfahrten pro Tag

Dauer der Auffahrung: 4-Stunden-Betrieb (345.300 m<sup>3</sup>)≈ 4 Jahre

Dauer der Auffahrung: 2-Stunden-Betrieb (157.500 m<sup>3</sup>)≈ 2 Jahre

### **9.5.6.2 Abförderung mittels Gurtbandförderers**

In diesem Kapitel werden die einzelnen Arbeitsschritte bei einer Abförderung mittels eines kontinuierlich fördernden Gurtbandfördersystems näher dargestellt.

Das Haufwerk wird mit Hilfe eines Fahrladers bis zu der Sammelstrecke gefördert und über Schurren auf das Gurtband geworfen. In der Sammelstrecke erfolgt die Förderung über einer Bandanlage bis zur Halde (ca. 1 km Entfernung). Um die Vortriebsgeschwindigkeit zu erhöhen, soll an zwei Örtern gleichzeitig gearbeitet werden, so dass die Arbeitsschritte Bohren und Besetzen sowie die Haufwerkförderung zeitgleich erfolgen können. Der Einsatz der Bandanlage bietet viele Vorteile, unter anderem durch minimale Wartezeiten der Maschinen und minimalen Wetterbedarf, da sich wenige Dieselfahrzeuge im Einsatz befinden. Diese Variante ist in der Abbildung 9-19 dargestellt.

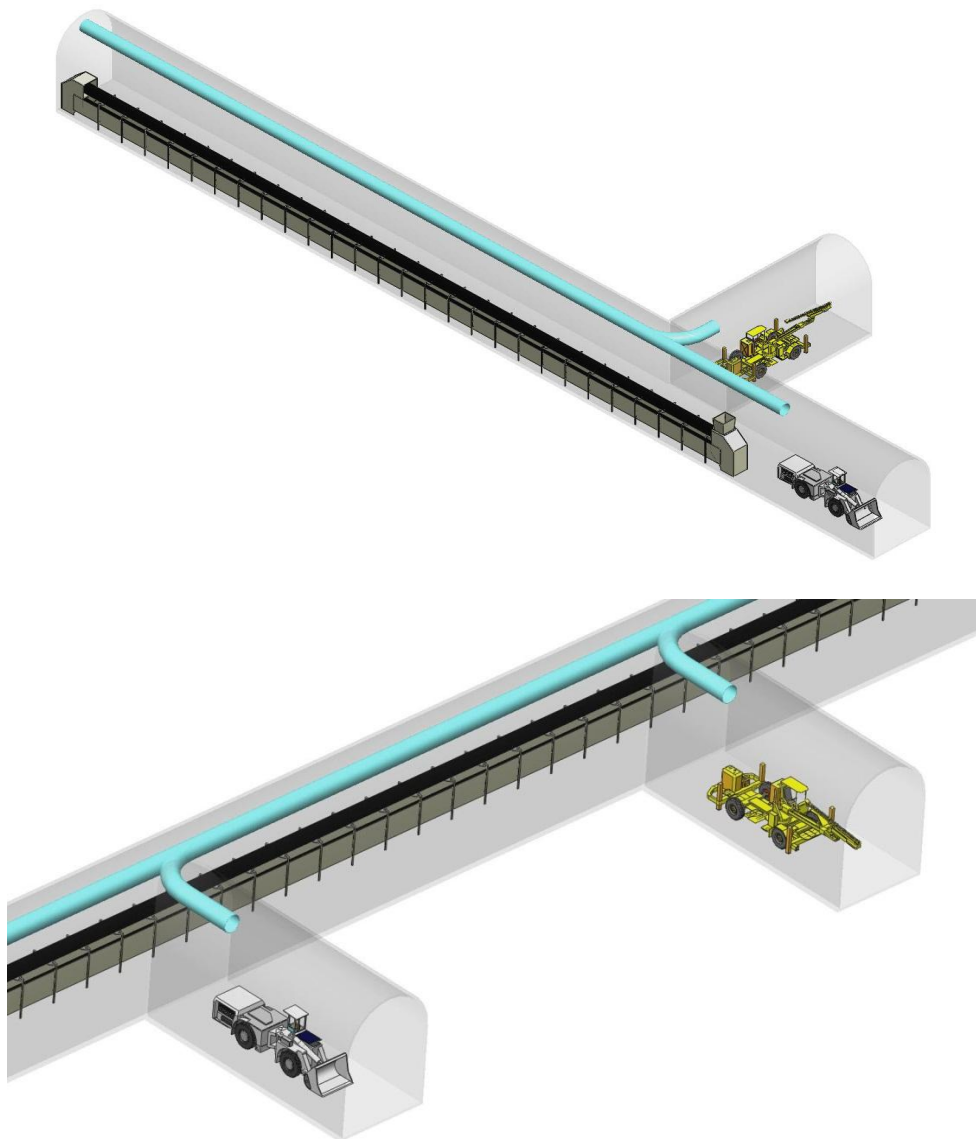


Abbildung 9-19: Darstellung des Bohrprozesses und der Abförderung des Haufwerks im Oberbecken

### 9.5.6.3 Maschinenkette

Für die Auffahrung der Strecken wird die in der Tabelle 9-3 aufgeführte Maschinenkette vorgeschlagen.

Maschine	Anzahl	Modell	Kapa- zität [ton]	Antrieb	Leistung [kW]	Dimension L*B*H [m³]
Fahrlader	2	GHH- LF-4.5,	4-4,5	Diesel	86- 107	7.3*1,8* (1,8-

		Seitenkipper				2,2)
Bohrwagen	1-2	Sandvik DD 420-60	-	Elektrohydraulisch	110	
Bühnenfahrzeug	2	HFH- Orion III	-	Diesel	125	8,15*6*2,6
Gurtförderanlage	1	HESE-TT Antrieb	60 t/h	Elektrisch	200	L=1000 $\Delta z=+40$

Tabelle 9-3: Maschinenkette für die Auffahrung der Strecken im Oberbecken (Variante 2)

### 9.5.7 Fördertechnik und Logistik- Unterbecken

Von zentraler Bedeutung für die Förderung des Haufwerks aus dem Unterspeicherbecken ist der Wiemannsbuchtschacht. Dieser wird sowohl für die Seilfahrt als auch für die Güter- und Materialförderung genutzt. Dieser Schacht dient ebenfalls als Frischwetter-schacht und als einer von beiden Fluchtwegen.

Das Haufwerk aus dem Unterspeicherbecken wird über die 18. Sohle mittels einer Bandanlage zu dem vorhandenen Füllort auf der 18. Sohle gefördert. Von dort wird das Haufwerk in Gefäße (10 t) abgezogen und über den Wiemannsbuchtschacht nach über Tage gefördert. Das Haufwerk wird vom Wiemannsbuchtschacht über weitere Bandanlage bis zur Halde in rund 100 m Entfernung gefördert.

Maschine	Anzahl	Hersteller bzw. Modell	Nutzlast [ton]	Antrieb	Leistung [kW]	Dimension L*B*H [m³]
Fahrlader	2	GHH- LF-4.5, Seitenkipper	4-4,5	Diesel	86- 107	7.3*1,8* (1,8-2,2)
Bohrwagen	1-2	Sandvik DD 420-60	-	Elektrohydraulisch	110	
Bühnenfahrzeug	2	HFH- Orion III	-	Diesel	125	6*8,15*2,6
Gurtförderanlage	1	HESE-TT Antrieb	60 t/h	Elektrisch	200	L=300
Skipförderung	1	SIEMAG-TECBERG	10	Elektrisch	1000-1500	-

Tabelle 9-4: Maschinenkette für die Auffahrung der Strecken im Unterbecken

### 9.5.8 Maschinenkaverne

Die Erschließung der Maschinen- und Trafokaverne erfolgt über die Zugangsstrecke auf der 19. Sohle.

Der Ausbruch der Kalotte unterteilt sich dabei in drei Teilausbrüche. Ein zentraler Teil mit einer Querschnittfläche von ca. 30 m<sup>2</sup> wird über die gesamte Länge der Kaverne ausgebrochen und gesichert. Danach folgen die beiden seitlichen Aufweitungen, welche ebenfalls ausgebaut werden.

Die Auffahrung der Strosse erfolgt in Etappenhöhen von vier bis fünf Metern. Die Abförderung des Ausbruchmaterials erfolgt über den Zugang zur Kaverne.

Das Haufwerk wird von der 19. Sohle mittels einer Bandanlage zu dem Füllort am Wiemannsbuchtschacht auf der 19. Sohle befördert. Die anschließenden Arbeitsschritte erfolgen dann wie in Kapitel Fördertechnik und Logistik- Oberbecken beschrieben.

### **9.5.9 Materialtransport**

Das Krafthaus besteht aus einem Maschinensatz und Transformatoren. Die Maschinenteile werden durch den Wiemannsbuchtschacht bzw. den neu zu teufenden Schacht ggf. mit Hilfe einer temporären Winde nach unter Tage transportiert und von dort aus mit Hilfe von gleislosen Fahrzeugen. Das heißt der Transport wird an einer Position unterbrochen und von der vertikalen Transportebene in die horizontale überführt. Die sehr langen Maschinenteile werden in den Füllort eingelassen und weiter auf der 19. Sohle transportiert. Es sind keine Informationen über die Dimension dieser Füllörter vorhanden; sollten diese nicht ausreichend dimensioniert sein, werden diese erweitert und ausgebaut, um eine notwendige Transporthöhe von 8-9 m zu erreichen.

### **9.5.10 Bewetterung und Klimatisierung**

Der Wetterbedarf für die untertägigen Aktivitäten im Erzbergwerk Grund lässt sich hinsichtlich folgender Kategorien untergliedern:

#### Dieselmotoren

Die Dieselmotoren sind die Haupteinflussfaktoren bei der erforderlichen Wettermenge. Nach den technischen Regeln für Gefahrenstoffe sind „Bei Bauarbeiten unter Tage (...) zur Bemessung der Bewetterung für jede Arbeitsstelle, an der Dieselmotoren eingesetzt werden, eine Frischluftmenge von 4,0 m<sup>3</sup>/min je eingesetztem kW anzusetzen.“/20,S.30/

#### Auffahrtechnik

Die ausgewählte Auffahrungstechnik spielt auch bei der erforderlichen Wettermenge eine große Rolle. Für die konventionelle Auffahrung wird eine größere Wettermenge benötigt

als bei maschineller Auffahrung, da Sprenggase entstehen, die aus dem Grubengebäude zu entfernen sind. In der Regel wird pro kg verwendetem Sprengstoff 0,031 m<sup>3</sup>/s Frischwetter benötigt. Nach jeder Sprengung ist eine 20 minütige Arbeitspause anzusetzen, um eine ausreichende Grubensicherheit zu gewährleisten.

#### Personen

Laut der Allgemeinen Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen im Oberbergamtsbezirk Clausthal-Zellerfeld (ABVO), § 113 Abs. 4 gilt: „Allen Betriebspunkten in nicht gesperrten Grubenbauen ist (...) für jede dort beschäftigte Person eine Wettermenge von mindestens 2 m<sup>3</sup> /min zuzuführen; Ausnahmen kann das Bergamt erteilen“  
/21/

#### **9.5.10.1 Oberbecken**

##### Wetterbedarf: Variante 1 – Abförderung mittels Muldenkipper

Das Speicherbecken ist während der Bauphase mit Hilfe einer Sonderbewetterung zu bewettern.

Wie schon erwähnt, ist bei dieser Variante mit vier Dieselmotoren zu rechnen. Unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrads ist für das Oberbecken ein Mindestwetterbedarf von 37.12 m<sup>3</sup>/s anzusetzen.

In der folgenden Tabelle sind die Berechnungen für den Wetterbedarf hinsichtlich der einzusetzenden Auffahrungs- und Fördertechnik aufgeführt. Eine saugende Sonderbewetterung wird aufgrund der Sprenggase bevorzugt. Der Nachteil dabei ist jedoch der hohe Druckverlust in den Wetterkanälen.

Nr.	Ziel der Bewetterung	Wetterbedarf pro Einheit	Anzahl	Summe (m <sup>3</sup> /s)
1	Person	0.03 m <sup>3</sup> /s Pro Person	20	0.60
2	Dieselmotoren 2 * Fahrlader 2 * Muldenkipper	0.067 m <sup>3</sup> /s Pro kW	2 * 107 kW 2* 170 kW	37.12
3	Sprengung	0.031	238 kg	8.8



		Pro kg Sprengstoff		
--	--	--------------------	--	--

Tabelle 9-5: Wetterbedarf nach einzelnen Kategorien für das Oberbecken (Variante 1)

#### Wetterbedarf: Variante 2 - Abförderung mittels Gurtbandförderers

Bei einer Sonderbewetterung in dieser Variante ist mit einer Reduzierung des Wetterbedarfs zu rechnen, da statt der Muldenkipper Bandanlagen eingesetzt werden. In der folgenden Tabelle sind die Berechnungen für den Wetterbedarf aufgeführt. Mit Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrades beträgt der Wetterbedarf 14.34 m<sup>3</sup>/h.

Nr.	Ziel der Bewetterung	Wetterbedarf pro Einheit	Anzahl	Summe (m <sup>3</sup> /s)
1	Person	0.03 m <sup>3</sup> /s Pro Person	20	0.60
2	Dieselmotoren 2 * Fahrlader	0.067 m <sup>3</sup> /s Pro kW	2 * 107 kW	14.34
3	Sprengung	0.031 Pro kg Sprengstoff	238 kg	9

Tabelle 9-6: Wetterbedarf nach einzelnen Kategorien für das Oberbecken (Variante 2)

#### **9.5.10.2 Unterbecken**

Ähnlich wie beim Oberbecken muss das Unterbecken sonderbewettert werden. Der Wetterbedarf in diesem Fall beträgt 14.34 m<sup>3</sup>/h. Einziger Unterschied im Vergleich zu der Bewetterung des Oberbeckens ist, dass die Abwetter des Unterbeckens an das Hauptbewetterungssystem des Bergwerks angeschlossen werden sollen. In der Tabelle 9-7 ist der Wetterbedarf nach verschiedenen Kategorien aufgeführt. Daraus lässt sich der maximale Wetterbedarf von 14,34 m<sup>3</sup>/s entnehmen.

Nr.	Ziel der Bewetterung	Wetterbedarf pro Einheit	Anzahl	Summe [m <sup>3</sup> /s]
1	Person	0.03 m <sup>3</sup> /s Pro Person	20	0.60

2	Dieselmotoren 2 * Fahrlader	0.067 m <sup>3</sup> /s Pro kW	2 * 107 kW	14.34
3	Sprengen	0.031 Pro kg Sprengstoff	238 kg	9

Tabelle 9-7: Wetterbedarf nach einzelnen Kategorien für Unterbecken

### 9.5.10.3 Maschinenkaverne

Die Maschinenkaverne ist über das Bewetterungssystem des Bergwerks zu bewettern. Die Simulation des Wetterstroms (siehe Abbildung 9-20) zeigt, dass in der Kaverne in manchen Bereichen Wetterturbulenzen vorkommen. Dabei ist die Errichtung von Druckventilatoren in der Kaverne zu empfehlen.

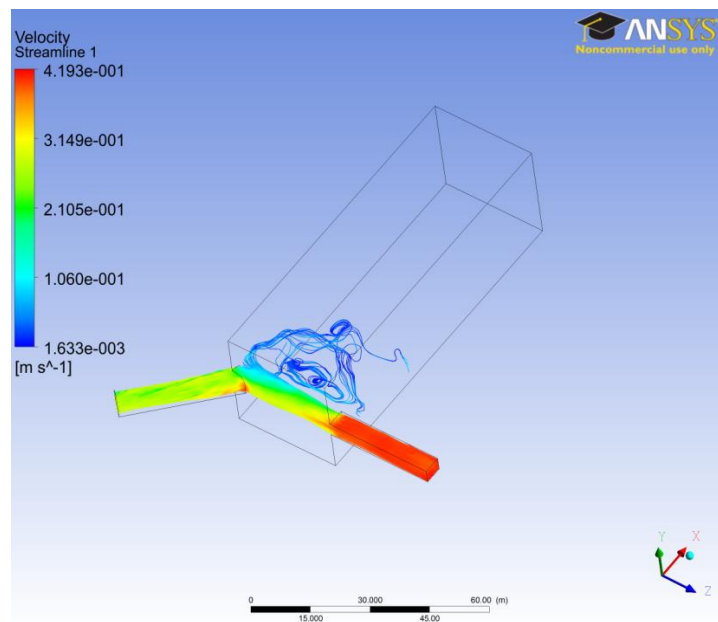


Abbildung 9-20: Simulation des Wetterstroms in der Maschinen- Trafokaverne

### 9.5.11 Betriebswasser des PSWuT

Ein Teil der Erstbefüllung eines der Speicherbecken kann durch eine Wasserentnahme aus dem Ernst-August-Stollen (2,52 \* 1,68) erfolgen. Dieser führt im Normalfall bis zu 15 m<sup>3</sup>/min Wasser. Bei Starkregen oder Schneeschmelze führt er zeitweise bis zu 30 m<sup>3</sup>/min. Der andere Teil kann aus dem Sumpfwasser entnommen werden. Es wurde bereits erwähnt, dass in dem Erzbergwerk Grund mit 0,5 Mio. m<sup>3</sup> Sumpfwasser zu rechnen ist, wovon rund 307.000 m<sup>3</sup> als Betriebswasser benötigt werden.

## 9.6 Bergbauliche Maßnahmen während der Betriebsphase des PSWuT

### 9.6.1 Bewetterung

Das PSWuT muss in der Betriebsphase durchgehend bewettert werden. Das Hauptbewetterungssystem ist dabei saugend ausgelegt.

#### 9.6.1.1 Wetterbedarf

Während der Betriebsphase des PSWuT muss das Bewetterungssystem der Abwärme des Maschinensatzes und der Transformatoren entgegenwirken. Es wird mit maximal 5 MW Verlust des Maschinensatzes und Trafos gerechnet. Durch das Kühlungssystem wird nur 250 kW in Wärme umgewandelt. Der Wetterbedarf während der Betriebsphase des PSWuT ist in der Tabelle 9-8 aufgeführt. Auch hier ist der maximale Wert mit 9 m<sup>3</sup>/h anzunehmen. Der genannte Wetterbedarf bezieht sich auf das Grubengebäude unterhalb des Stollenniveaus

Nr.	Ziel der Bewetterung	Wetterbedarf pro Einheit	Anzahl	Summe [m <sup>3</sup> /s]
1	Person	0.03 m <sup>3</sup> /s Pro Person	6	0.18
2	Abwärme von Maschinen (Maschinensatz und Trafo)	0,035 m <sup>3</sup> /h pro kW Abwärme	0,25 MW	9

Tabelle 9-8: Wetterbedarf während der Betriebsphase

In der Tabelle 9-9 sind die Funktionen und Wetterbilanzen einzelner Wettergrubenbaue einzusehen.

Bezeichnung	Funktion	Wettermenge [m <sup>3</sup> /s]
Wiemannsbuchtschacht	Frischwetter einziehend	9
Zweiter Schacht	Abwetter ausziehend	9

Tabelle 9-9: Bilanz und Funktion der Wettergrubenbaue

#### 9.6.1.2 Bewetterungskonzept

Die Frischwetterversorgung von über Tage aus erfolgt über den Wiemannsbuchtschacht. Für die Abwetterführung wird der erforderliche Unterdruck auf der Tagesöffnung von

dem zweiten Schacht durch Lüfterstationen mit einem Hauptlüfter erzeugt. Für die weitere Verteilung der Frischwetter in der Maschinenkaverne dienen Druckventilatoren, die in der Maschinen-Trafokaverne installiert werden.

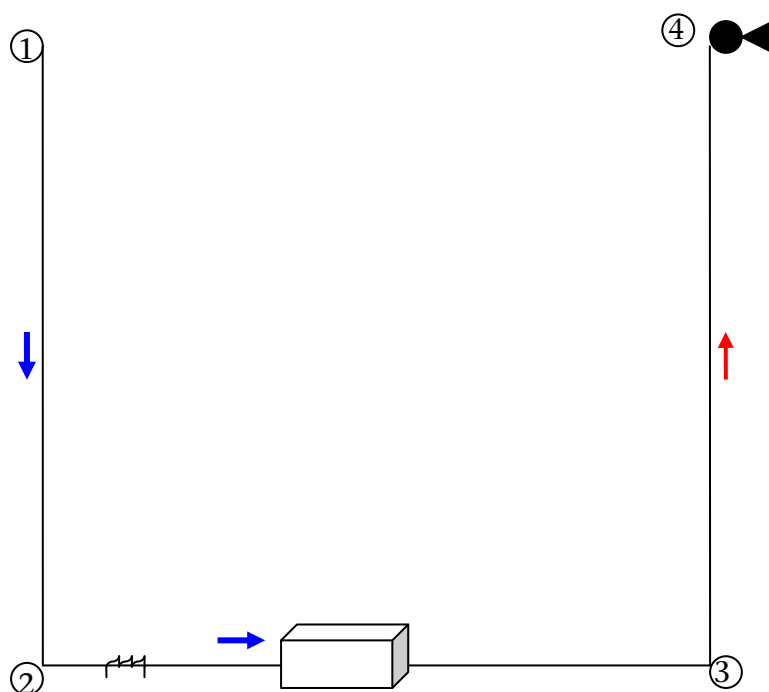


Abbildung 9-21: Bewetterungskonzept im Modellbergwerk Grund



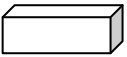
	Kühlungssystem
<b>Я</b>	Luftregulator
	Hauptlüfter
	Maschinen-und Trafokaverne

Tabelle 9-10: Legende von Abbildung 9-21

Die notwendigen Wetterströme und die entsprechenden Wettereinrichtungen in den einzelnen Abschnitten des Grubengebäudes des PSWuT sind in der Tabelle 9-11 zusammengefasst.

Abschnittsanfang		Widerstand [Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup> ]	Wetterstrom [m <sup>3</sup> /s]	Druckverlust [Pa]	Anmerkung
Von	bis				
1	2	0.1	9	22.68	Wiemannsbuchtschacht
2	3	0.08	9		19. Sohle
3	4	0.1	9		Zweiter Schacht

Tabelle 9-11: Zusammenfassung des Bewetterungskonzeptes des PSWuT im Erzbergwerk Grund

### 9.6.1.3 Belüftung der Speicherbecken

Die Speicherbecken werden während der Betriebsphase mit Hilfe einer natürlichen Bewetterung belüftet. Während des Pumpprozesses wird ca. 20 m<sup>3</sup>/s Luft in Bewegung gebracht. Der Endbereich aller Speicherstrecken ist daher mit kleindimensionierten Wetterbohrlöchern zu versehen (siehe Abbildung 9-22). Diese Bohrlöcher sind maximal 0,5 m hoch, haben einen Durchmesser von wenigen Dezimeter und werden mit einer Wetterstrecke miteinander verbunden. Die Wetterstrecke wird an die Hauptbetriebsbereiche angeschlossen.

Die während der Entleerung des Oberbeckens erforderlichen Wettermengen werden durch die aufgefahrene Zugangsstrecke zur Verfügung gestellt. Während der Befüllung des Oberbeckens werden die Wetter über die Zugangsstrecke nach über Tage geleitet.

Die während der Entleerung des Unterbeckens erforderliche Wettermenge wird aus dem Hauptwettersystem aus dem Wiemannsbuchtschacht entnommen. Während der Befüllung des Unterbeckens wird die entstandene Wetter aus dem Speicherbecken für die Abkühlung der Stromkabel benutzt. Dabei findet eine spezielle Einrichtung (z.B. automatische Wettertür) Einsatz, durch die eine Richtungsänderung der Wetterführung ermöglicht wird. Eine kleine Wetterstrecke muss zwischen dem Oberbecken und dem Schacht mit der Kabelführung aufgefahren werden.

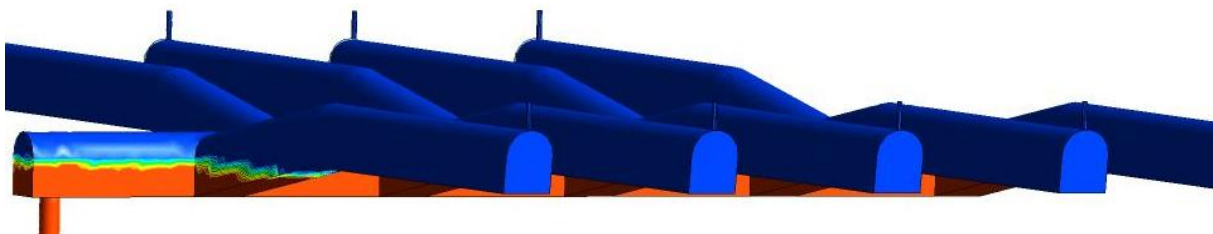


Abbildung 9-22: Wetterbohrlöcher in dem Speicherbecken

### **9.6.2 Trockenlegung des Bergwerks**

In dem gesamten Verbundbergwerk Grund lagen die Wasserzulaufmengen in den letzten Bergbaujahren bei ca. 115 m<sup>3</sup>/h. Die Trockenlegung des zukünftigen PSWuT erfolgt mit Hilfe von 1-2 Kreispumpen mit einer Leistung von 600 kW (200 m<sup>3</sup>/h).

### **9.6.3 Mannschaftstransport bei Revisionen**

Der Mannschaftstransport erfolgt bei Revisionen und Befahrungen durch den zweiten Schacht und den Wiemannsbuchtschacht. Der Weg zur Maschinenkaverne auf der + 120 m Sohle kann zu Fuß oder durch gleislose Fahrzeuge erfolgen.

### **9.6.4 Materialtransport bei Revisionen**

Der Transport der Ersatzteile für Reparaturen erfolgt während der Betriebsphase durch die beiden Schächte ggf. mit Hilfe einer temporären Winde und anschließend auf der 19. Sohle durch gleislose Fahrzeuge.

### **9.6.5 Fluchtkonzept**

Das PSWuT-Konzept verfügt über mind. zwei Schächte. Die beiden Schächte sind mit Notfahrrhaspeln ausgerüstet und werden bei Havariefällen bzw. bei Notfällen von einem Notstromaggregat von der oberen Sohle aus versorgt. Welche von diesen Schächten und deren Zugänge im Falle einer Flucht bzw. Räumung benutzt wird, hängt davon ab, wo die Personen sich befinden (abwetterseitig oder frischwetterseitig). In tiefen Bergwerken mit mehreren Schächten sind die einziehenden Schächte als Hauptfluchteinrichtungen besser geeignet.

Laut gesetzlicher Vorschriften ist die Einrichtung von Fluchtkammern an beiden Blindschächten erforderlich, wenn mit überschrittenen Wartezeiten an den Schächten zu rechnen ist. Die Bewetterung der Kammern erfolgt über Druckluft und die notwendige Energie wird über das Notstromaggregat der oberen Sohle bereitgestellt. Darüber hinaus sind Telekommunikationsgeräte in den Kammern installiert. /22/

### **9.6.6 Kabelführung von der Maschinenkaverne nach über Tage**

Die Besonderheiten und Anforderungen an Hochspannungs- Kabelführungen sind in Bergbaubetrieben unbekannt. Im Gegensatz dazu ist die Mittelspannungs- Kabelführung in tiefen Bergwerken Stand der Technik. Im Erzbergwerk Grund bestehen drei Möglichkeiten für die Kabelführung (siehe Teilbericht Elektrotechnik).

- Mittelspannungs-Kabelführung durch den zweiten Schacht und Transformation auf Hochspannung über Tage. Dabei ist zu beachten, dass die Kabelführung vollständig von der mechanischen Beeinflussung des Betriebes abgeschottet wird. Die Anforderungen an ein Schachtkabel müssen ebenfalls erfüllt werden (siehe Teilbericht Elektrotechnik).
- Hochspannungs-Kabelführung durch den zweiten Schacht. Grundsätzlich ist eine Abschottung und Abschirmung von dem restlichen Schachtraum möglich. Es bedarf einer intensiven Untersuchung der Risiken im Falle von Havarien.
- Hochspannungs-Kabelführung durch den dritten Schacht. Es wird nur für diesen Zweck ein zusätzlicher Schacht abgeteuft. Dieser Schacht muss durch Personen befahrbar sein. Diese Variante weist zwar die höchste Sicherheitsstufe auf, jedoch ist sie mit erheblichen Kosten verbunden.

## 9.7 Strömungssimulation

Die Strömungssimulationen mit ANSYS ermöglichen eine Untersuchung der Fließgeschwindigkeit des Wassers in verschiedenen Abschnitten des Speicherbeckens.

Der kritischste Abschnitt in dem Speicherbecken in Hinsicht auf die Fließgeschwindigkeit des Wassers ist die Sammelstrecke. Wenn das Wasser sich in den seitlich angrenzenden Speicherstrecken verteilt, verringert sich die Fließgeschwindigkeit mit der Reduzierung des Massenstroms. Die Abbildung 9-23 zeigt eine vereinfachte Geometrie des Speicherbeckens während der Befüllung.



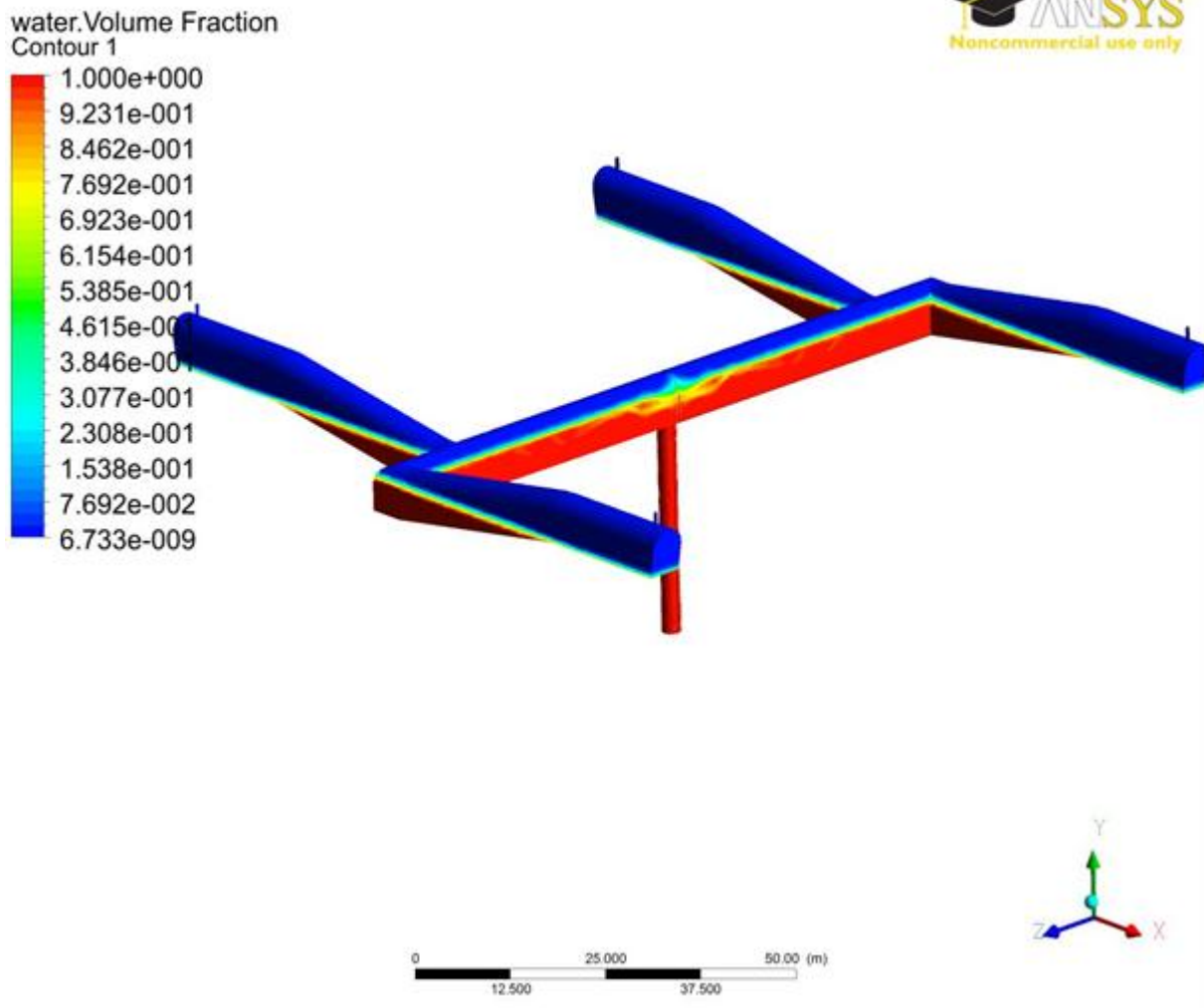


Abbildung 9-23: Strömungssimulation bei einer vereinfachten Geometrie des Speicherbeckens

Aus der Simulation ist zu sehen, dass die Fließgeschwindigkeit des Wassers in den ersten Minuten der Befüllungsphase sehr hoch ist und sich mit der Erhöhung des Wasserstandes in der Sammelstrecke verringert. Eine maximale Fließgeschwindigkeit von 3,7 m/s wird in diesem Fall erreicht. Nach der Befüllung der Sammelstrecke und während der Befüllung der einzelnen Speicherstrecken werden nicht so große Fließgeschwindigkeiten erreicht. Aufgrund dieser Ergebnisse wird in diesem Projekt angestrebt, die Sammelstrecke und einen Teil der Speicherstrecke konstant mit Wasser gefüllt zu halten (wie es in der Abbildung 9-23 zu sehen ist) und das nötige Speichervolumen durch die Speichervolumina der Speicherstrecken zu erreichen.

Die Fließgeschwindigkeiten wurden in folgenden drei Schnitten während der Befüllung der Speicherstrecken untersucht (siehe Abbildung 9-24).



Abbildung 9-24: Ausgewählte Schnitte des Speicherbeckens

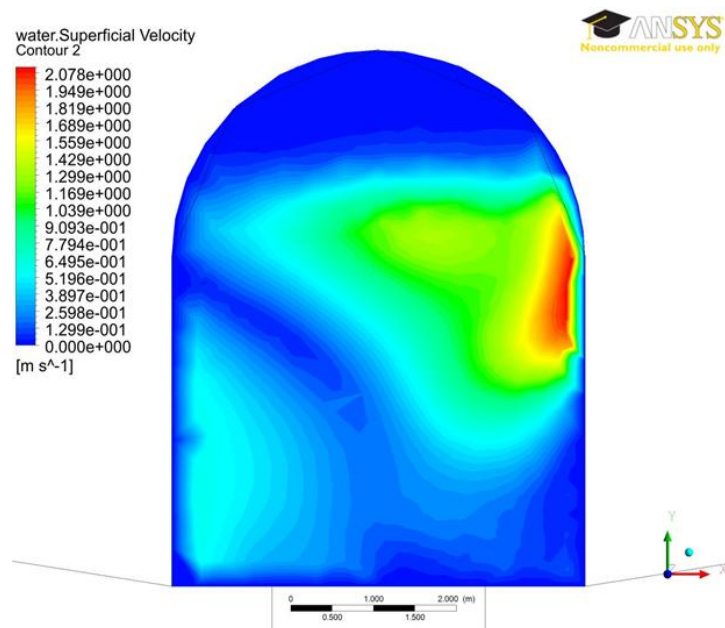


Abbildung 9-25: Fließgeschwindigkeit in der Sammelstrecke

In der Sammelstrecke werden die größten Fließgeschwindigkeiten unmittelbar vor dem ersten Anschluss mit der Speicherstrecke erreicht (1,5 bis 2 m/s). Es wird vorgeschlagen, dass dieser Bereich der Sammelstrecke (die ersten 35 m) gesichert und ausgebaut wird.

Die Simulationen zeigen eine Reduzierung der Fließgeschwindigkeit in den Speicherstrecken, wobei beachtet werden muss, dass am Endbereich der Speicherstrecke mit großen Turbulenzen zu rechnen ist. In diesem Bereich werden ebenso erhöhte Ausbaumaßnahmen vorgeschlagen.

## 9.8 Prinzip- Darstellung

Das PSWuT wird schematisch wie folgt dargestellt:

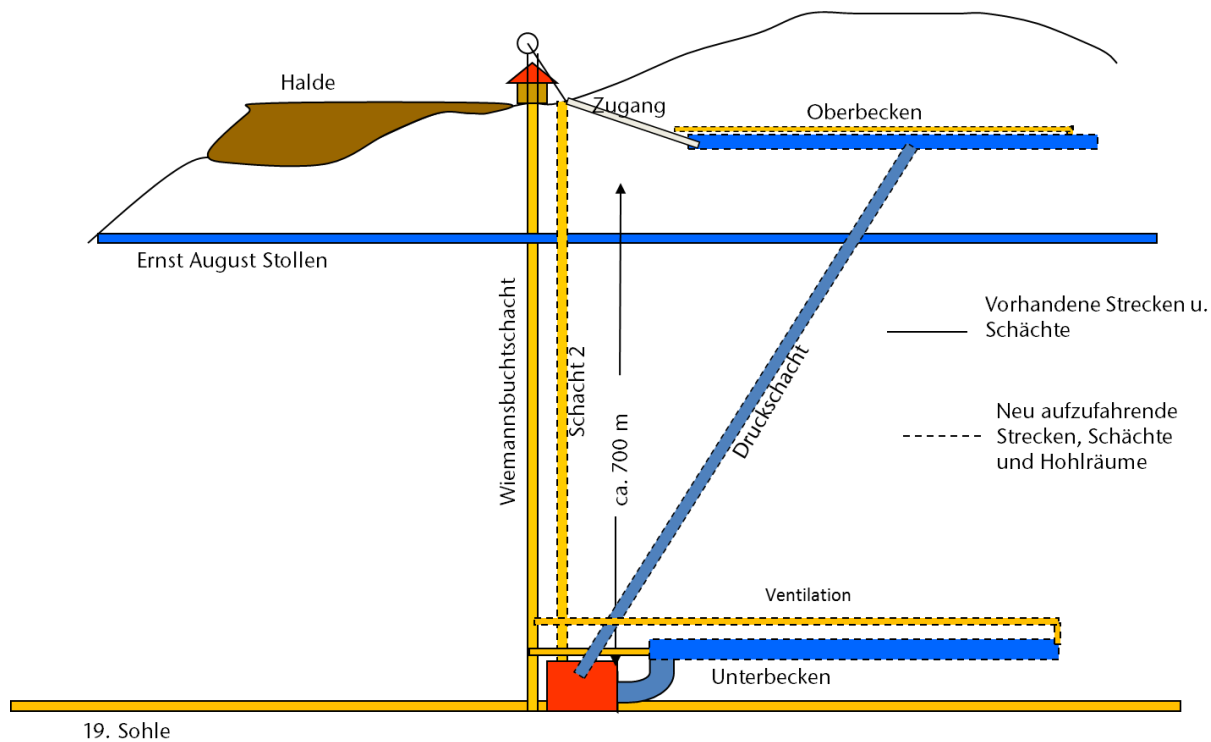


Abbildung 9-26: Schematische Darstellung des PSWuT -Konzeptes

### 9.9 Rückbau

Es wird mit einer Betriebsdauer von 100 Jahren für das vorgestellte PSWuT-Konzept gerechnet.

Nach der Entsorgung der Maschinenteile sowie umweltbelastender Gegenstände wird das ganze Bergwerk inklusive Speicherbecken saniert, die Tagesöffnungen werden verfüllt und geschlossen. Das Bergwerk bzw. PSWuT wird nach dem vom heutigen Kenntnisstand ausgehenden jetzige Verwahrungsplan bis zum Niveau des Ernst-August-Stollens geflutet.

### 9.10 Fazit

Zur Veranschaulichung der einzelnen Arbeitsschritte zur Errichtung eines PSWuT wurde das Erzbergwerk Grund als Modellbergwerk ausgewählt.

Anhand der vorhandenen Risswerke des Bergwerks wurden zwei 3-D Modelle von dem Bergwerk in ArcGis und in Vulcan erstellt. Aus dem ArcGis- Modell wurden die geographischen Grenzen wie Schutzgebiete, alte Abbaugelände sowie Störungszonen und deren Abstand zu den potenziellen PSWuT Komponenten untersucht. Dabei wurde die grobe Lage dieser Komponenten bestimmt. Anhand der Software Vulcan wurde das Bergwerk konstruiert und ein detailliertes PSWuT-Konzept durchgeplant. Anschließend wurden die

Lage und das Volumen der neu aufzufahrenden Hohlräume bestimmt. Dabei fanden das Bewetterungs- sowie Fluchtkonzept besondere Berücksichtigung. Die Arbeitsschritte sowie die Maschinenauswahl für die Herstellung der Hohlräume wurden bestimmt. Anschließend wurde das Fließverhalten des Wassers in dem Speicherbecken anhand einer Strömungssimulationen mit Hilfe der Software ANSYS analysiert.

In dem Modellbergwerk Grund wird eine mittlere Fallhöhe von 700 m erzielt. In der Vier-Stunden Variante wird ein Gesamtvolumen von 307.800 m<sup>3</sup> aufgefahren, wobei 242.000 davon nutzbar sind. In der Zwei- Stunden Variante wird für jedes Speicherbecken ein Gesamtvolumen von 157.500 m<sup>3</sup> aufgefahren.

Ein großer Kostenfaktor in diesem Bergwerk ist das Abteufen des zweiten und ggf. dritten Schachtes.

## **10. Das Modelbergwerk Pöhla**

Als zweites Modelbergwerk wurde das ehemalige Erzbergwerk Pöhla ausgewählt. Sehr gutes Nebengestein, ein tiefes, komplexes und groß dimensioniertes Grubengebäude, zum großen Teil offene Hohlräume und sehr gute Datengrundlagen sind die Hauptgründe dieser Entscheidung. Das Bergwerk Pöhla des Bergbaubetriebes Aue ist gegenwärtig Eigentum der Wismut GmbH. Das Erzbergwerk befindet sich in einer walddreichen Mittelgebirgslandschaft (Höhenlage ca. 600 bis 900 m ü. NN) südlich der Orte Pöhla und Rittersgrün, im oberen Westerzgebirge. Etwa 12 km nordwestlich der damaligen Betriebsflächen liegt die Stadt Schwarzenberg. Die Entfernung zum Grenzübergang nach Tschechien bei Bozi Dar beträgt etwa 1 km.

Das Bergwerk umfasst eine Fläche von 32,9 km<sup>2</sup>, davon liegen 96 % im Landkreis Aue-Schwarzenberg, die restlichen 4 % im Landkreis Annaberg.

In diesem Bergbaug Gebiet befinden sich mehrere Fließgewässer (u.a. Pöhlwasser, Kunnersbach, Schildbach und Luchsbach). Zur Lagerstätte Pöhla gehören die Teillagestätten Globenstein, Tellerhäuser und Hämmerlein.

Die Uranerzgewinnung der SDAG Wismut ist am 31.12.1990 eingestellt worden. /19/

### **10.1 Situationsbeschreibung**

Während der Betriebszeit unterhielt das Bergwerk fünf Halden mit einer Aufstandsfläche von insgesamt 32 ha und einem Gesamtvolumen von ca. 2 Mio m<sup>3</sup>. Die ehemaligen Halden befinden sich abseits der Orte Pöhla und Rittersgrün.

Die mit Abstand größte Halde war die sog. Luchsbachhalde in der Nähe des Hauptstollens, wo ca. 1,8 Mio m<sup>3</sup> Haldenmaterial auf einer Fläche von ca. 26 ha abgelagert wurden./19/ Im Rahmen dieses Projektes wird mit einem Abraumvolumen von 1 Mio. m<sup>3</sup> gerechnet, das während der Auffahrungsphase auf dieser Halde abgelagert werden soll.

Diese Halde ist nach der Stilllegung des Bergwerkes saniert und rekultiviert worden. Die Lage der Luchsbachhalde ist in der Abbildung 10-1 dargestellt.

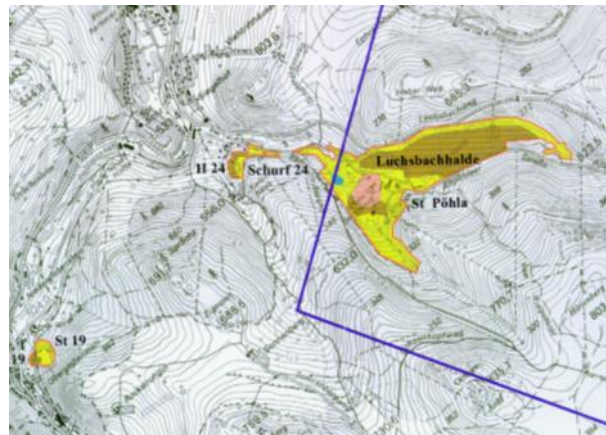


Abbildung 10-1: Lage der Halden der Lagerstätte Pöhla- Tellerhäuser./19/

Auf der Schildbachhalde, die sich direkt neben der Luchsbachhalde befindet, wurde eine Wasseraufbereitungsanlage für die vom Hauptstollen abfließenden Flutungswässer errichtet. Die Lage der Luchsbachhalde und der Wasseraufbereitungsanlage sind in der Abbildung 10-2 dargestellt.



Abbildung 10-2: Lage der Luchsbach- und Schildbachhalde

Diese Lagerstätte ist von zahlreichen Schutzgebieten umgeben, deren Belange bei der Realisierung des PSW nicht beeinträchtigt werden dürfen. Wegen möglicher Drainage durch das Oberbecken müssen bei der Planung insbesondere die Trinkwasserschutzgebiete für Fließ- und Grundgewässer in diesem Gebiet beachtet werden. Diese stellen bei den bergbaulichen Planungen eine große Einschränkung dar (siehe Abbildung 10-3).



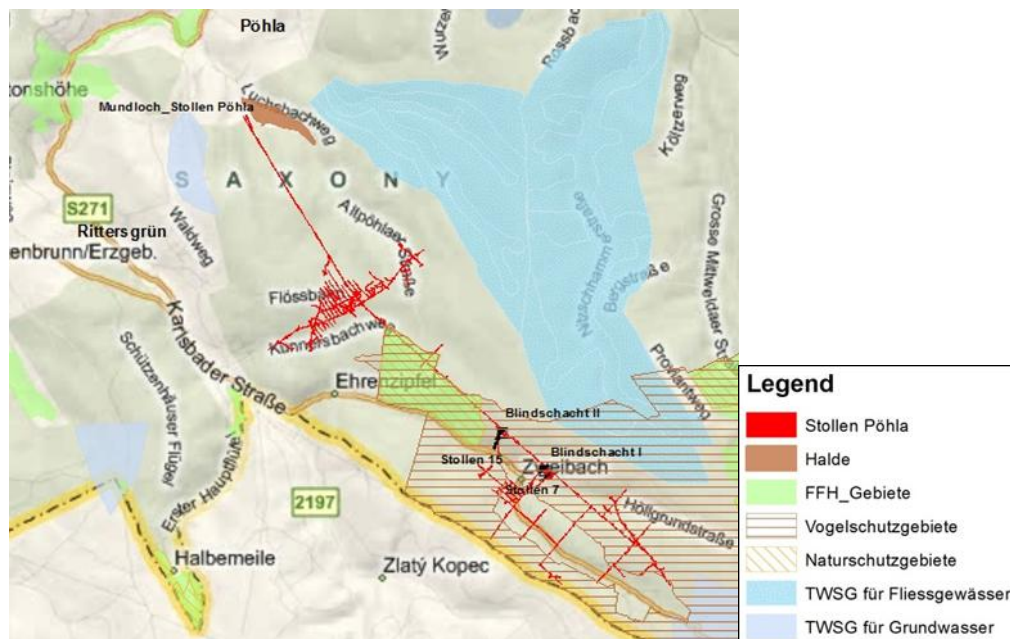


Abbildung 10-3: Schutzgebiete der Lagerstätte Pöhla- Tellerhäuser

### 10.1.1 Verwahrung der Grube Pöhla

Das Bergwerk Pöhla ist von 1991 bis 1995 bis zum Stollenniveau (575m ü. NN bis 600 m ü. NN) geflutet worden. Die Stilllegungsarbeiten wurden zunächst auf den tiefer gelegenen Sohlen durchgeführt; dabei wurden Stoffe, die sich auf die Grundwasserqualität und dessen Nutzung negativ auswirken aus der Grube entfernt und entsorgt.

Bereits im Juli 1991 konnte die Flutung der Sohlen +65 m ü. NN m und +85 m ü. NN zur endgültigen Verwahrung eingeleitet werden. Die Stilllegungsarbeiten wurden zeitnah bis zur Stollensohle +600 m ü. NN fortgeführt, so dass Ende 1995 0,93 Mio. m<sup>3</sup> Grubenhohlraum unter Wasser standen und der Wasserstand das Überlaufniveau im Hauptstollen bei 585,5 m ü. NN (Grubenbereich Hämmerlein) erreichte. Der Flutungspegel wird mit einer Tauchpumpe ständig 1–2 m unter diesem Niveau gehalten.

Um das Flutungswasser von Schadstoffen zu befreien, werden sie der inzwischen modifizierten und umgebauten Wasserbehandlungsanlage zugeführt und anschließend in den Luchsbad eingeleitet. Dieser Transport der verunreinigten Gewässer geschieht in separaten Rohrleitungen und somit getrennt von den aus dem Stollen abfließenden Infiltrationswässern.

Die Stollen, mit Ausnahme des Hauptstollens, wurden zum Schutz der Tagesoberfläche bis Ende 1997 zum größten Teil durch Verfüllung sowie durch Errichtung von Abschluss-

dämmen verwahrt. Zuvor wurden dabei die vertikalen Abgänge verfüllt und verplombt. Einige Stollenmundlöcher sind gegenwärtig erhalten.

Der Hauptstollen wird vorerst für die Einlagerung von Reststoffen der WBA Pöhla sowie zur Kontrolle der Wasserableitung und des Chemismus der Wässer weiterhin genutzt.

Dadurch ist auch der fortlaufende Betrieb des in der Zinnlagerstätte Hämmerlein eingerichteten Besucherbergwerks durch einen Verein möglich.

Tagesüberhauen und Großbohrlöcher zur Tagesoberfläche wurden inzwischen ebenfalls verfüllt und verplombt. In dem mit einer Plombe verwahrten Wetterüberhauen 7 befindet sich noch ein Wetterdurchlass, der derzeit noch als Abwettergrubenbau fungiert./19/

Nach der Stilllegung des Bergwerkes wurden im Rahmen der Sanierung die übertägigen Betriebsanlagen vollständig zurückgebaut. Nur einige aufgefahrenen Stollen(Mundlöcher) sowie die ehemaligen Betriebshalden zeugen noch als letzte Spuren des ehemaligen Bergbaus in diesem Gebiet. Von diesen „Spuren“ sind für die Realisierung des Projektes der Stollen 7, der Hauptstollen und die Luchsbach- und Schildbachhalde von Bedeutung.

Der Stollen 7 liegt direkt an einem Waldweg. In unmittelbarer Nähe des Mundlochs, weniger als 500m entfernt, befindet sich die Landstraße S271. Eine direkte Verbindung zwischen den beiden Infrastrukturobjekten ist nicht vorhanden.

### **10.1.2 Abbau**

Der Abbau der Uranerzgänge des Erzfeldes Pöhla-Tellerhäuser erfolgte durch das Abbauverfahren des Firstenstoßbaus mit Versatz.

Die gehaltvollste Uranvererzung ließ sich in der Teillagerstätte Tellerhäuser verzeichnen. Der planmäßige Uranerzabbau begann in Pöhla im Jahre 1983 und endete mit der Einstellung der Uranerzgewinnung im Jahre 1991. Insgesamt wurden in der Teillagerstätte Tellerhäuser 1.200 Tonnen Uran gewonnen. Neben Uranerz konnten in der Teillagerstätte Tellerhäuser Magnetit und Silber gewonnen werden./19/

### **10.1.3 Grubengebäude**

Der Aufschluss des Bergwerkes vom oberen Luchsbachtal am Hirtenberg in Richtung Tellerhäuser vom Niveau 575,4 m ü. NN erfolgte mit der Auffahrung des Pöhla-Stollens. Die Auffahrung erfolgte mit einer dreiprozentigen Steigung, einem Sonderquerschnitt von 8,8 m<sup>2</sup> bzw. 10,5 m<sup>2</sup> und einer Gesamtlänge von 7.845,8 m und verlief parallel zu der

tschechischen Grenze. In der Abbildung 10-4 ist das Grubengebäude des Bergwerks Pöhla-Tellerhäuser dargestellt.

Der Aufschluss der Teillagerstätte Tellerhäuser begann mit dem Abteufen des Blindschachtes 1 vom Niveau des Pöhla-Stollens mit einem Querschnitt von 24,1 m<sup>2</sup>. Zeitlich verzögert wurde der Blindschacht 2 parallel zu Blindschacht 1 und im gleichen Querschnitt geteuft.

Die Abstände zwischen den Hauptsohlen betragen 60 m; darüber hinaus mussten zum Aufschluss des produktiven Bereiches aus wettertechnischen und sicherheitstechnischen Gründen Zwischensohlen mit einem Abstand von 30m aufgefahren werden.

In der Teillagerstätte Tellerhäuser wurden die Einrichtungen zur Frischwetterversorgung, Abwetterführung und Energieversorgung des Pöhla-Stollens sowie das unter der Stollensohle liegende Grubengebäude ausschließlich durch Überhauen bzw. Großlochbohrungen hergestellt.

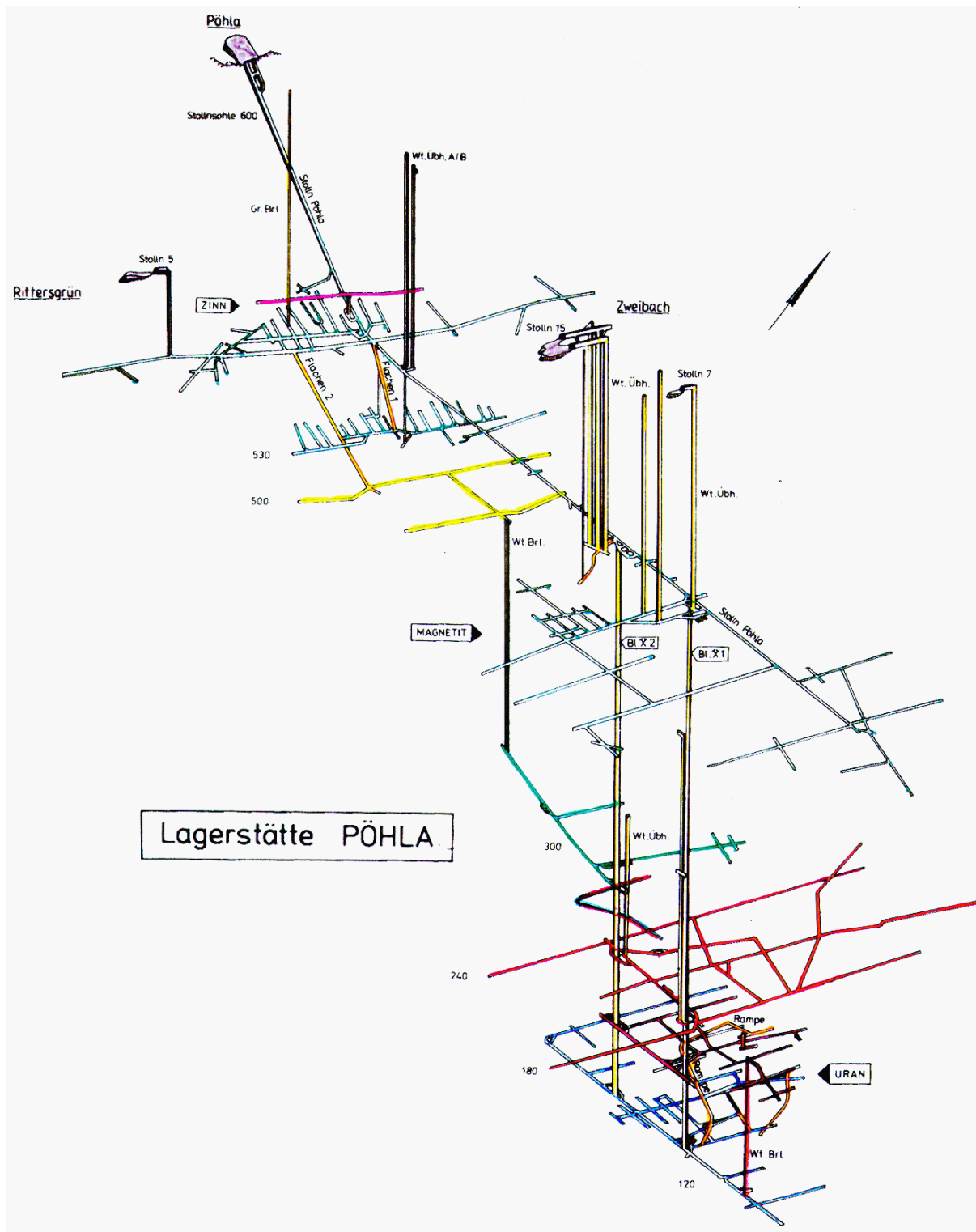


Abbildung 10-4: Raumbild der Lagerstätte Pöhl /19/

Über Tage mussten zum Anschluss dieser Wetterverbindungen mehrere Wetterstollen aufgeföhren werden. Dieses Wettersystem wird in dem vorliegenden Projekt teilweise

nachgenutzt. Das Grubengebäude, welches im Rahmen dieses Projektes als Grundlage dienen soll, ist in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Grubengebäude	Höhenlage m ü. NN	Länge [m]	Querschnitt [m²]	Zustand
Pöhla Stollen	+575 bis +600	7845,8	3,2*3,9	offen
Wetterüberhauen 7	+785 bis Stollensohle	189	4,6x2,6	kleine Beton-plombe mit Wetterdurchlass
Stollen 7	+785	150	4,55	Verfüllung mit Bauschutt
Wetterüberhaue 15	+785 bis Stollensohle	194	5,1x3,6	offen
Stollen 15	+785	179	7,3	Verfüllung mit Bauschutt
Blindschacht 1	Stollensohle bis +120	510	7,44*3,24	geflutet
Blindschacht 2	Stollensohle bis +120	500	7,44*3,22	geflutet
Sohle +150	+150			geflutet
Sohle +120	+120		ca. 4*4	geflutet
Sohle +135	+135			geflutet
Wetterüberhauen 40	Stollensohle bis +240	360	4,6x2,6	geflutet
Wetterüberhauen 40/4	+240 bis +120	120	4,6x2,6	geflutet
Rampe zwischen +120 und 150	+150 bis +120			geflutet

Tabelle 10-1: Grubengebäude der Lagerstätte Pöhla

## 10.2 Besonderheiten

Die Besonderheiten des Bergwerks Pöhla sind wie folgt aufgeführt:

### 10.2.1 Zinnlagerstätte

Eine Besonderheit an diesem Standort sind die bilanzierten und potenziell-prognostischen Zinnvorräte. Von diesen abbauwürdigen Vorräten können insbesondere die Bilanzvorräte, die etwa 20% von den Tellerhäuser Gesamtvorräten ausmachen, als sicher gelten. Die potenziell-prognostischen dagegen (40% der Gesamtvorräte) sind als unsicher, spekulativ zu bewerten /19/.

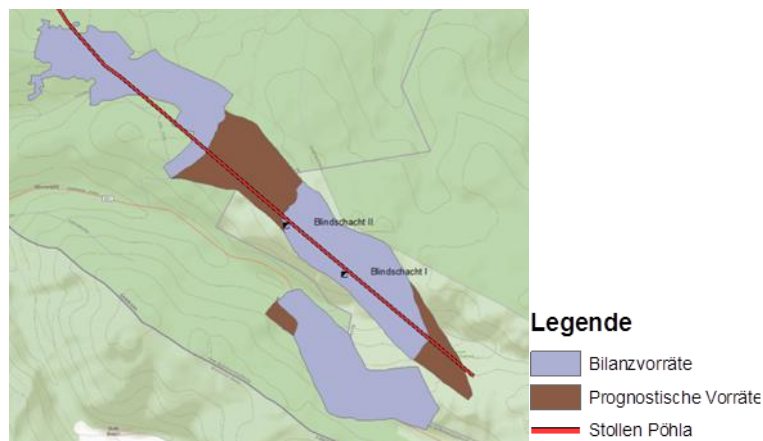


Abbildung 10-5: Bilanz- und potenziell-prognostische Zinnvorräte

### 10.2.2 Kein durchgehender Tagesschacht

Im Bergwerk Pöhla-Tellerhäuser ist kein durchgehender Schacht vorhanden. Die Förderung erfolgte während der Betriebszeit durch Kombination zweier Blindschächte und eines Stollens. Im modernen Bergbau ist eine gebrochene Förderung wegen des großen Zeitaufwandes an den Übergabestationen von großem Nachteil. Das spiegelt sich auch in der Auffahrungsphase des Unterbeckens wider. Eine detaillierte Planung wird im Kapitel Fördertechnik und Logistik durchgeführt.

### 10.2.3 Besucherbergwerk

Eine weitere Besonderheit des Bergwerkes ist das Besucherbergwerk. Ein Teil der alten Grubenhohlräume (insbesondere Hauptstollen und die Zinkkammer Hämmerlein) ist damit für die Besucher zugänglich.

### 10.3 Modellierung mit ArcGis

Basierend auf den Daten von der Wismut AG wurde, analog zum Erzbergwerk Grund, das 3D-Grubenmodell für das untertägige Bergwerk Pöhla erstellt. Dabei wurde auch die geologische Situation sowie insbesondere die prognostischen Vorräte und Bilanzvorräte berücksichtigt.

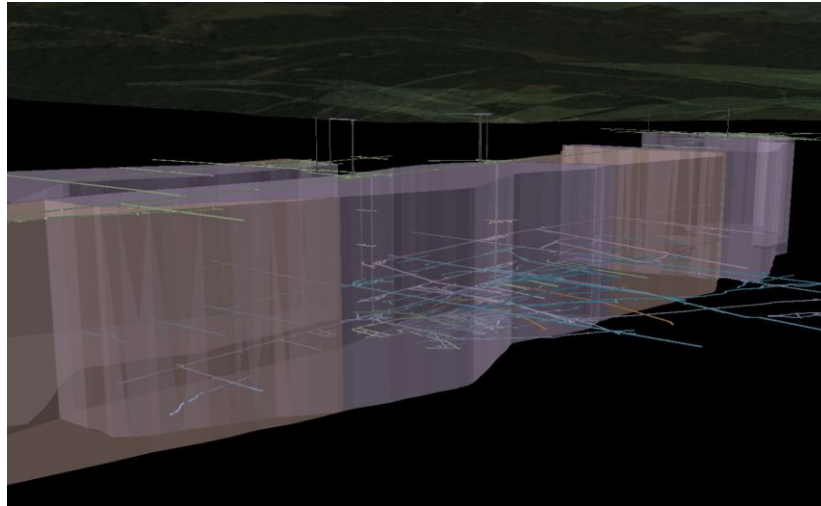


Abbildung 10-6: Das Grubengebäude Pöhla mit den Bilanzvorräten (braun) und prognostischen Erzvorräten (lila)

Weiterhin wurde zur Beschreibung der übertägigen Situation auch das Digitale Oberflächenmodell auf Basis eines bereitgestellten Digitalen Geländemodells und anhand topographischer Karten erstellt.

### 10.4 Planung mit Vulcan

Das PSWuT-Konzept in Pöhla wurde anhand der Bergbau Planungssoftware Vulcan erstellt.

#### 10.4.1 PSWuT-Konzept: Vier- Stunden- Betrieb

In diesem Projekt sollen zwei Ausführungen eines PSWuT-Konzepts Berücksichtigung finden. Die eine Variante ist für eine Betriebsdauer von vier Stunden, die andere für eine zweistündige Betriebsdauer ausgelegt. Bei der gleichen erzielbaren Leistung besteht der wesentliche Unterschied in ihrem verfügbaren Speichervolumen (siehe Teilbericht Maschinentechnik und Elektrotechnik).

Zu Beginn der Planungsarbeiten wurde nach einer geeigneten Lage für die Speicherbecken und die Maschinenkaverne gesucht. Die Zielstellung bestand darin, möglichst große Spei-



cherbecken mit maximal realisierbaren Fallhöhen errichten zu können – jedoch unter der Bedingung, die Auffahrung neuer Hohlräume und Zugänge minimal zu halten. Darüber hinaus schränkten weitere zu berücksichtigende Faktoren die Auswahl einer geeigneten Lage deutlich ein. Zu dem alten Abbaugbiet, zu den großen Störungen, den Schutzgebieten und insbesondere zu der prognostizierten Zinn- und Uranlagerstätte musste ein Mindestabstand von 100 m eingehalten werden. Es wurde berücksichtigt, dass der Bau und die Inbetriebnahme eines PSWuT einen möglichen Abbau von Zinn und Uran in dieser Lagerstätte nicht be- bzw. verhindert. Der Verlauf der Hauptstörungen und deren Einfluss auf die Stabilität des Speicherbeckens bzw. die Maschinen-Trafokaverne wird in dem Teilbericht Geomechanik ausführlich beschrieben. (Siehe Teilbericht Geomechanik)

Die Lage der einzelnen Komponente des PSWuT sind in der Abbildung 10-7 dargestellt.

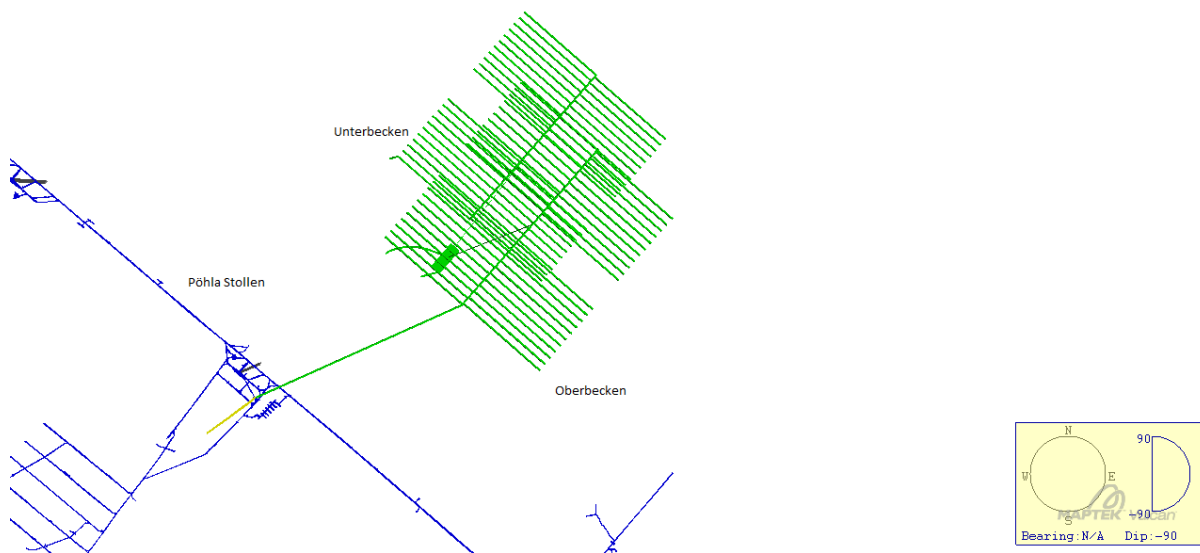


Abbildung 10-7: Grundriss des PSWuT- Bergwerk Pöhla

#### 10.4.1.1 Geometrie der Speicherbecken

Die Speicherbecken bestehen aus 44 Speicherstrecken, die jeweils 250 m lang sind, sowie einer Sammelstrecken von 510 m Länge. Die Speicherstrecken werden mit einer Neigung von 9-10 % an die Sammelstrecke angeschlossen. Die ersten 50 m der Speicherstrecke werden geneigt und die übrigen 200 m sölhlig aufgefahen(siehe Abbildung 10-8). Aus strömungstechnischen und gebirgsmechanischen Gründen wurde diese Geometrie für die Becken ausgewählt, damit die Fließgeschwindigkeit des Wassers in der Sammelstrecke

beherrschbar ist. Es wird dabei angestrebt, dass die Sammelstrecke und ein Teil der Speicherstrecke immer mit Wasser gefüllt bleiben. Mit einem Gesamtvolumen von 345.000 m<sup>3</sup> wird ein Nutzvolumen von mindestens 283.000 m<sup>3</sup> zur Verfügung gestellt, da wegen der Geometrie der Becken das Gesamtvolumen nicht vollständig nutzbar ist. Die strömungsmechanischen Berechnungen werden in dem Unterkapitel Fließgeschwindigkeit näher betrachtet.

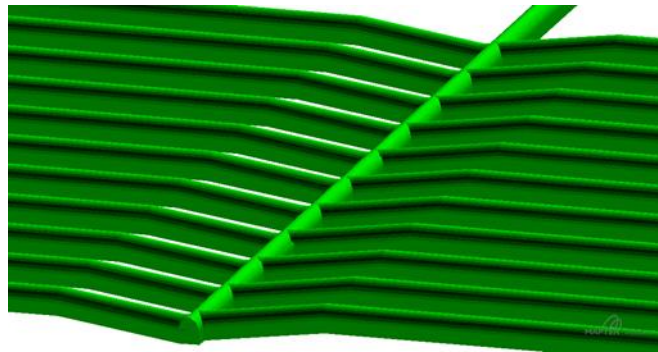


Abbildung 10-8: Geometrie der Speicherbecken – Bergwerk Pöhla

#### **10.4.1.2 Oberbecken**

Als Zugang für das Oberbecken soll der Stollen 7 dienen. Daher wird dieser um 500 m verlängert sowie dessen Querschnitt erweitert. Die Neigung dieses Zugangsstollens beträgt 8%. Das Oberbecken liegt auf einem Niveau von 745 m ü. NN. Die Abbildung 10-9 zeigt eine schematische Darstellung des Oberbeckens sowie dessen Anbindung an das Grubengebäude.

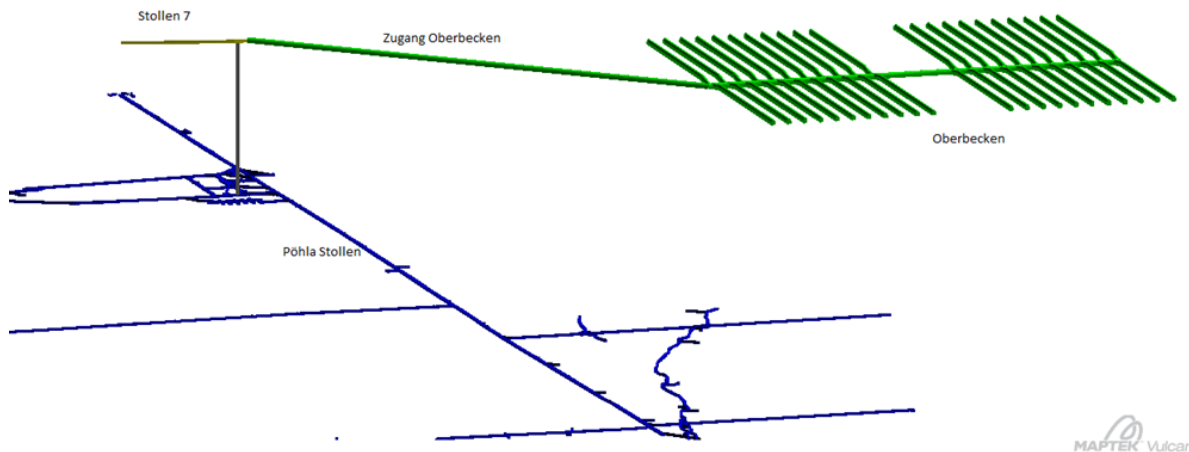


Abbildung 10-9: Raumbild des Oberbeckens – Bergwerk Pöhla

#### 10.4.1.3 Unterbecken

Das Unterbecken wird mit einer gleichen Geometrie wie das Oberbecken auf dem Niveau der Sohle +150 m aufgeföhren. Die +150 m-Sohle ist durch eine Rampe mit der Sohle +120 m verbunden. Über diese Rampe soll die Haufwerksförderung erfolgen. Die Sohle +150 m dient als Zugangsstrecke für das Unterbecken (siehe Abbildung 10-10).

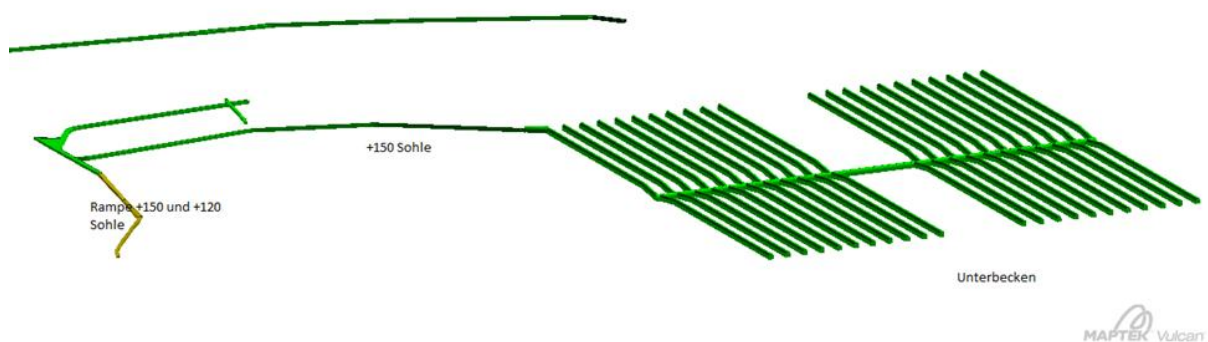


Abbildung 10-10: Raumbild des Unterbeckens – Bergwerk Pöhla

#### 10.4.1.4 Maschinen-Trafokaverne

Die Maschinen-Trafokaverne wird auf der Sohle +120 m aufgeföhren. Die Dimensionierung der Kaverne beträgt  $79\text{m} \times 21\text{m} \times 29\text{m} = 48111 \text{ m}^3$ . Aus Gründen der Arbeitssicherheit

verfügt die Maschinen-Trafokaverne über zwei separate Zugänge. Die Zugangsstrecken liegen ca. 15 m höher als das Sohlenniveau der Kaverne, damit bei Havariefällen durch Wasseraustritte aus dem Maschinensatz dem Personal ausreichend Zeit zu Verfügung steht die Kaverne zu verlassen, bevor die Zugänge von dem Ereignis betroffen sind. Die Zugänge sind in Abbildung 10-11 und Abbildung 10-12 dargestellt.



Abbildung 10-11: Raumbild des Unterbeckens – Bergwerk Pöhla

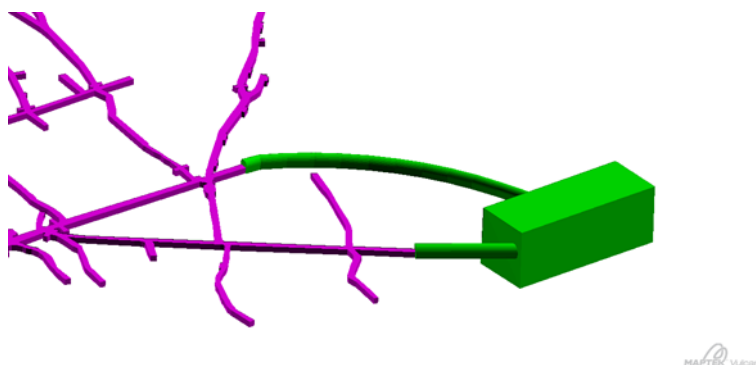


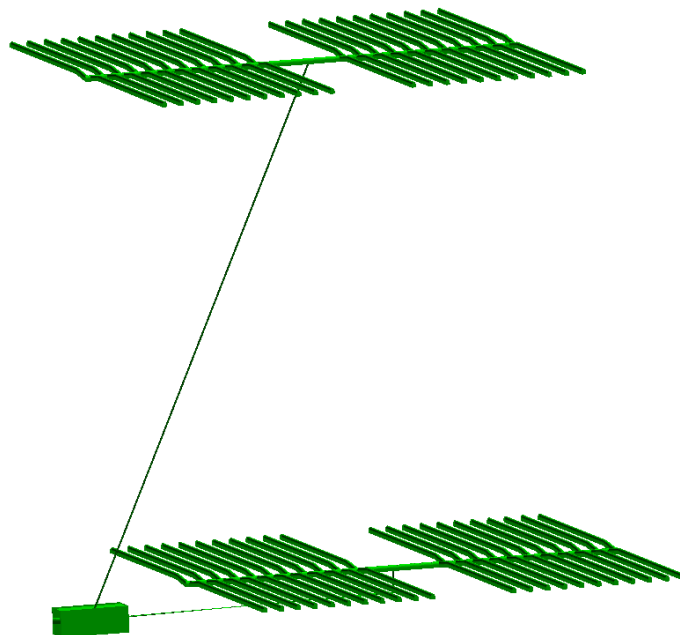
Abbildung 10-12: Zugänge zu der Maschinen-Trafokaverne – Bergwerk Pöhla

#### 10.4.1.5 Druckschächte

Das PSWuT-Konzept verfügt über zwei Druckschächte. Der eine verbindet das Oberbecken mit der Maschinen-Trafokaverne und der andere verläuft zwischen dem Unterbecken und der Maschinen-Trafokaverne. Die Druckschächte in Pöhla sind in der Abbildung 10-13 dargestellt. Der Druckschacht zwischen der Maschinen-Trafokaverne und dem Oberbecken weist eine Länge von ca. 700 m bei einer Neigung von ca. 70° auf, womit ein Höhenunterschied von ca. 600 m erzielt wird. Eine Kombination aus einem 300 m

langen Druckstollen und einem 30 m hohen Druckschacht verbindet das Unterbecken mit der Maschinen-Trafokaverne.

Der lichte Durchmesser des Druckrohrs in dem Druckschacht beträgt ca. 2 m. Der Druckschacht wird wegen dem Betonausbau mit einem Durchmesser von 3 -3,5 m abgeteuft.

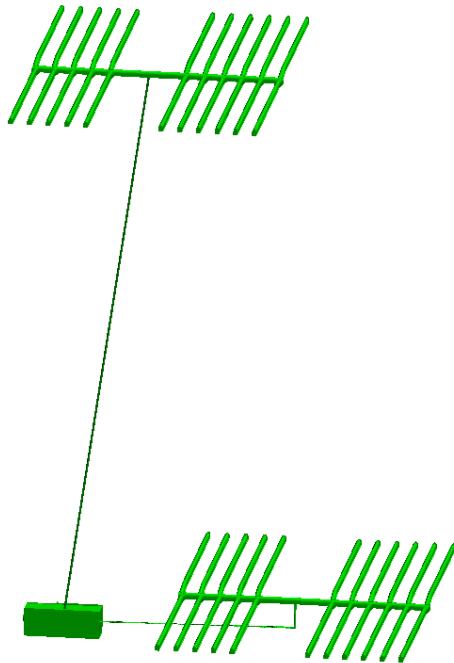


MAPTEK Vulcan

Abbildung 10-13: Druckschächte in Pöhla

#### 10.4.2 PSWuT-Konzept: Zwei-Stunden-Betrieb

Als zusätzliche Variante wird im Rahmen dieses Projektes eine Betriebsdauer von zwei Stunden zur Berücksichtigung der Wasserschutzgebiete (siehe Abbildung 10-3) betrachtet. Das Speicherbecken besteht in diesem Fall aus 22 Speicherstrecken und einer Sammelstrecke, die jeweils 250 m lang sind. In der Abbildung 10-14 ist das Konzept bei einem Zwei-Stunden-Betrieb dargestellt. In dieser Variante liegt das Unterbecken zum Teil in dem Schutzgebiet für Fließgewässer (siehe Teilbericht Recht). Das Umkonstruieren des Unterbeckens zur Vermeidung dieses Schutzgebiets ist möglich, wird aber im Rahmen dieses Projektes nicht weiter betrachtet.



MAPTEK Vulcan

Abbildung 10-14: PSWuT-Konzept bei einem Zwei-Stunden-Betrieb

## 10.5 Bergbauliche Maßnahmen während der Bauphase

Während der Bauphase des PSWuT sind diverse bergbauliche Maßnahmen erforderlich, die in den folgenden Kapiteln aufgeführt werden.

### 10.5.1 Trockenlegung des Bergwerks

Seit 1995 befinden sich 0.93 Mio m<sup>3</sup> der prinzipiell zur Verfügung stehenden Hohlräume im gefluteten Zustand und das Wasser steht bis zum Niveau des Pöhla-Stollens. Zum Errichten eines PSWuT in diesem Bergwerk ist es notwendig das gesamte Bergwerk zu entwässern, bevor mit den bergbaulichen Arbeiten für das Oberbecken und die Maschinen-Trafokaverne begonnen werden. Eine Entwässerung kann bspw. durch den Einsatz einer Kreiselpumpe mit einer Leistung von 600 kW erfolgen. Dabei dauert die Entwässerung, im Bergbau auch Sümpfen genannt ca. drei Monate. Es ist darüber hinaus zu beachten, dass dieses Wasser wahrscheinlich belastet ist und behandelt werden muss. Aus diesem Grund wird die Installation von mobilen Wasserbehandlungsanlagen vorgeschlagen.

### 10.5.2 Öffnen des Bergwerks

Von den zu nutzenden Hohlräumen im Bergwerk Pöhla sind die Stollen 7 und 15 mit Bauschutt verfüllt. Die Wetterüberhauen 7 und 15 sind mit einer dünnen Betonplatte mit

Wetterdurchlass verplombt. Der Bauschutt soll maschinell und die Betonplombe mittels Bohr- und Sprengarbeit entfernt werden.

### **10.5.3 Auffahrung**

Die Speicherbecken (Ober- und Unterbecken) sowie die Maschinen- und Trafokaverne werden vollständig neu aufgefahren. Die Geometrie der Becken ist für eine maschinelle Auffahrung nicht geeignet. Beispielsweise würde sich der Einsatz von Teilschnittmaschinen aufgrund der kurzen geneigten Speicherstrecken sehr unwirtschaftlich gestalten. Daher wird in diesem Projekt eine konventionelle Auffahrung der Strecken mittels Bohr- und Sprengarbeit in einer gebirgsschonenden Weise bevorzugt, welche eine langjährige Nutzung der Hohlräume gewährleistet. Aufgrund der Erschütterung soll ein ausreichender Abstand zu Wohngebieten Berücksichtigung finden.

### **10.5.4 Schachtabteufen**

Eine niederzubringenden Zielbohrung als Vorbohrloch von oben nach unten und anschließender aufwärtsgerichteter Erweiterung von unten nach oben wird für das Erstellen der Druckschächte wegen der vorhandenen Unterfahren vorgeschlagen.

### **10.5.5 Fördertechnik und Logistik- Oberbecken**

Zur Gestaltung der Fördertechnik bieten sich prinzipiell zwei Möglichkeiten an:

#### **10.5.5.1 Die Variante mittels Muldenkipper**

Im Rahmen dieser Variantenbetrachtung erfolgt die Abförderung anhand eines diskontinuierlich fördernden Muldenkippers. Die einzusetzenden Fahrlader fördern dabei das Haufwerk bis zur Sammelstrecke, während der Abtransport des Haufwerks in der Sammelstrecke durch einen Muldenkipper erfolgt. Um die Vortriebsgeschwindigkeit zu erhöhen, soll an zwei Orten gleichzeitig gearbeitet werden, so dass während in dem einen Ort gebohrt und besetzt wird, wird zeitgleich in dem zweiten Ort die Haufwerksförderung erfolgt.

Die Errichtung des Streckennetzes könnte dabei, wie nachfolgend beschrieben erfolgen. Die Sammelstrecke wird zunächst vollständig aufgefahren, im Anschluss erfolgt die Auffahrung der seitlich angrenzenden Speicherstrecken, wobei seitenweise vorgegangen werden soll. Die Vorgehensweise ist in der Abbildung 10-15 dargestellt.



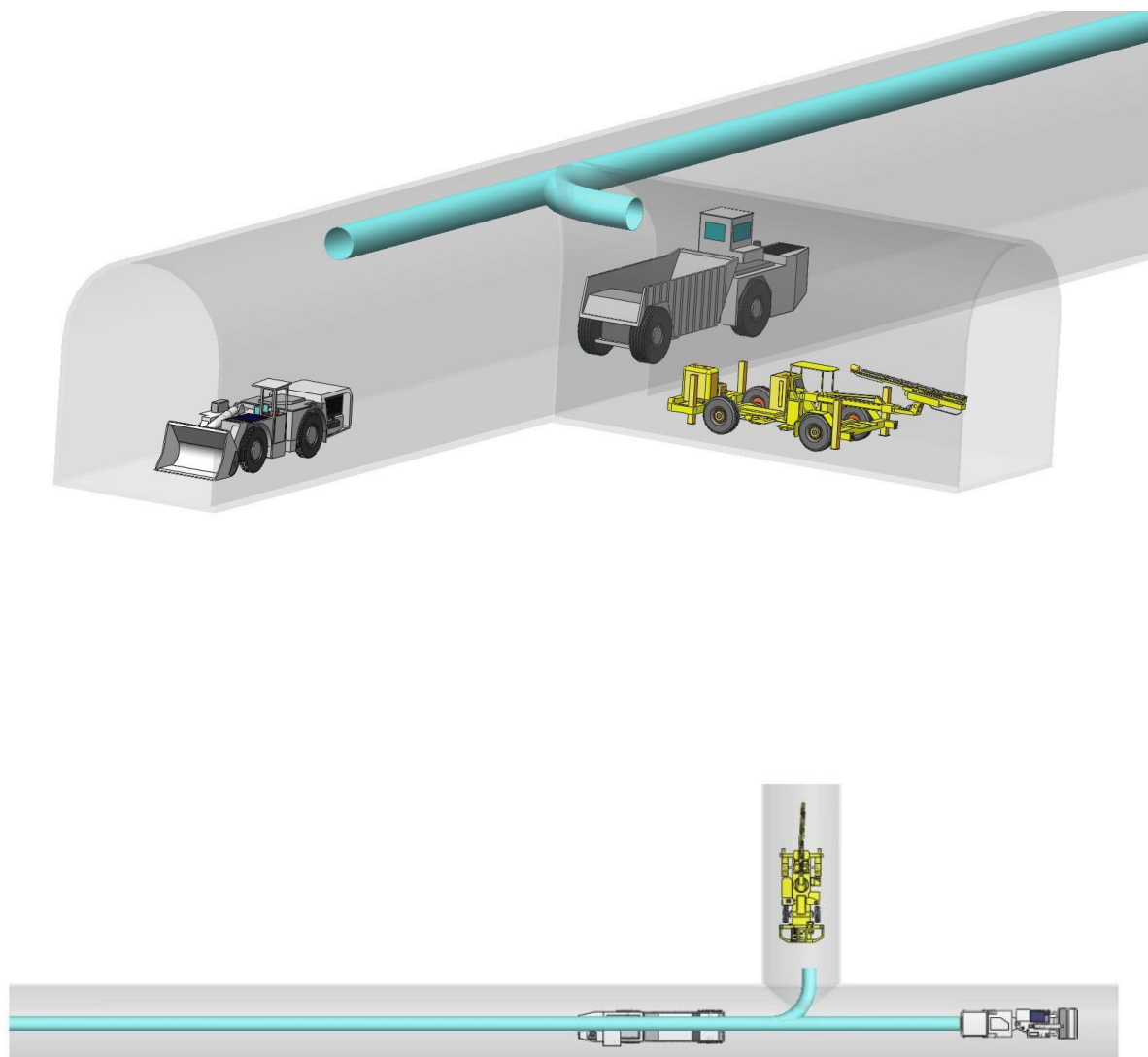


Abbildung 10-15: Darstellung der Auffahrung im Oberbecken

### Maschinenkette

Die folgende Maschinenkette wird für die Auffahrung der Strecken vorgeschlagen.

Für die Auffahrung der Strecken wird die in der Tabelle 10-2 aufgeführte Maschinenkette vorgeschlagen.

Maschine	Anzahl	Modell	Kapazität [ton]	Antrieb	Leistung [kW]	Dimension L*B*H [m³]
Fahrlader	2	GHH- LF-4.5, Seitenkipper	4-4,5	Diesel	86- 107	7.3*1,8* (1,8-2,2)

Bohrwagen	1-2	Sandvik DD 420-60	-	Elektrohydraulisch	110	
Muldenkipper	3	GHH-MK-A20.1	20	Diesel	136- 170	8,6*2,2*2,5
Bühnenfahrzeug	2	HFH- Orion III	-	Diesel	125	6*8,15*2,6

Tabelle 10-2: Die Maschinenkette zur Auffahrung der Strecken im Oberbecken

## Dimensionierung

Die Anzahl der notwendigen Maschinen werden über die Berechnung der Arbeitszyklen und unter dem Aspekt der Wartezeitenminimierung bestimmt.

## Berechnung des Fahrladerzyklus

GHH- LF-4.5, Seitenkipper

max. Fahrweg 250 m

Fahrgeschwindigkeit 15 km/h (Vorwärts sowie Rückwärts)

Arbeitsschritt	Dauer [min]
Einfahrtzeit	1
Beladen	1
Ausfahrtszeit	1
Entladen	1
Wartezeit	1
Summe	5

## Berechnung des Muldenkipperzyklus

Beladezeit: 20 ton / 4 ton  $\approx$  5 Fahrladerzyklus pro ein Muldenkipper (MK)

Fahrzeit: einfache Fahrt: 6 km bis zur Halde/ 15 km/h  $\approx$  Hin und zurück  $24 \cdot 2 \approx 48$  min

Muldenkipperanzahl= Fahrzeit MK / Beladezeit MK = 48 min/ 25 min +1  $\approx$  3

Muldenkipper

Arbeitsschritt	Dauer [min]
Fahrzeit	2 *24 = 48
Beladezeit	5*5 =25
Entladezeit	2
Summe	75

### Berechnung des Bohrzyklus

90 Bohrlöcher (Ø 45 mm \* 3 m Länge =270 m pro Abschlag)

Bohrgeschwindigkeit 1 m/min

Fahrgeschwindigkeit 4,5 km/h geneigt -10 km/h flach

Besetzen und Drahten  $\approx$  180 min

Arbeitsschritt	Dauer [min]
Einfahrt	4
Bohrzeit	270
Besetzen	180
Standzeit	4
Ausfahrt	4
Summe	460

## **Betrieb**

Es wird ein Dreischichtbetrieb mit jeweils acht Stunden vorgeschlagen. Die Arbeitsschritte in den jeweiligen Schichten sind im Folgenden aufgelistet.

### **Schicht 1**

Bohren, Besetzen  $\approx$  8 Stunden

### **Schichtwechsel**

Sprengen

### **Schicht 2**

Sprenggas auslassen  $\approx$  30 min

Berauben  $\approx$  30 min

Laden  $\approx$  5 Stunden

ggf. Ankern und Spritzbeton  $\approx$  150 min

### **Schicht 3**

Bohren und Besetzen  $\approx$  8 Stunden

## **Sonn- und Feiertage**

Wartung und Reparatur

## **Vortriebsgeschwindigkeit**

Aus den vorherigen Berechnungen ergibt sich eine Vortriebsgeschwindigkeit von drei Abschlügen pro Tag = 9 m/d

- mit 30 m<sup>2</sup> Querschnitt resultiert sich ein Volumen von 270 m<sup>3</sup>

- Volumen (270m<sup>3</sup>) \* Dichte(ca. 2.6 t/m<sup>3</sup>) = Masse (700t) pro Tag

- daraus resultieren 35 Muldenkipperfahrten

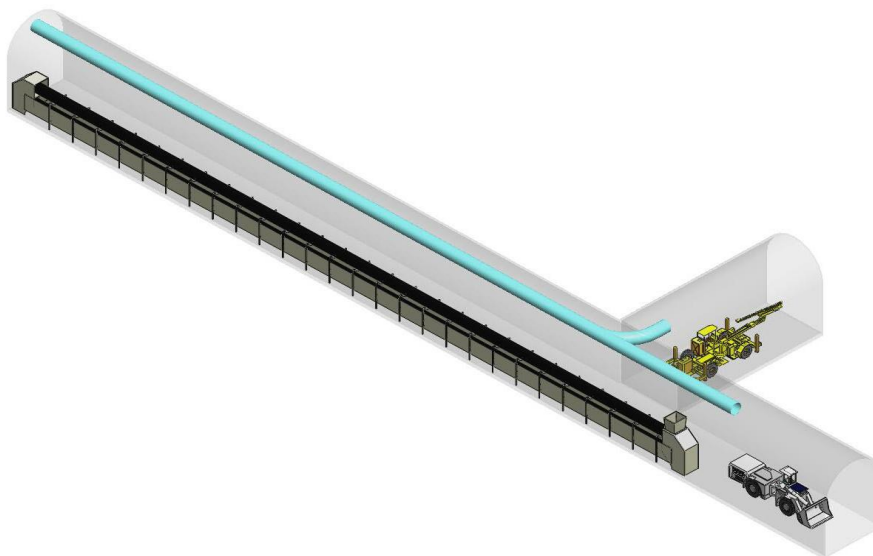
Dauer der Auffahrung Für vier Stunden Betrieb  $\approx$  4 Jahre

Dauer der Auffahrung Für zwei Stunden Betrieb  $\approx$  2 Jahre

#### **10.5.5.2 Die Variante mittels Gurtbandförderers**

Bei dieser Variante wird das Haufwerk mit Hilfe eines Fahrladers bis zu Sammelstrecke gefördert und durch Schurren auf das Gurtband geworfen. In der Sammelstrecke erfolgt die Förderung über eine Bandanlage bis zum Stollenmundloch 7, von wo aus das Fördergut auf eine übertägige Bandanlage übergeben wird. Die sehr lange Distanz zwischen dem Mundloch 7 und der Luchsbachhalde (6,7 km) ist ein entscheidender Faktor für den Einsatz einer Bandanlage als Transportmittel. Auch hier sollen die Arbeitsschritte Bohren und Haufwerkförderung parallel erfolgen. Diese Variante bietet viele Vorteile, unter anderem durch minimale Wartezeiten und einen reduzierten Wetterbedarf, da sich weniger Dieselfahrzeuge im Einsatz befinden. Diese Variante ist in der Abbildung 10-16 dargestellt.

Als Nachteil sind die genehmigungsrechtlichen Probleme zu nennen (siehe Teilbericht Recht). Sollte die Installation einer Bandanlage aus rechtlichen Gründen nicht genehmigt werden, erfolgt die Übergabe des Fördergutes durch die erstgenannte Variante. Diese Art der gebrochenen Förderung ist aufgrund des höheren Zeitaufwandes sehr unwirtschaftlich und wird daher in diesem Projekt als Notlösung betrachtet.



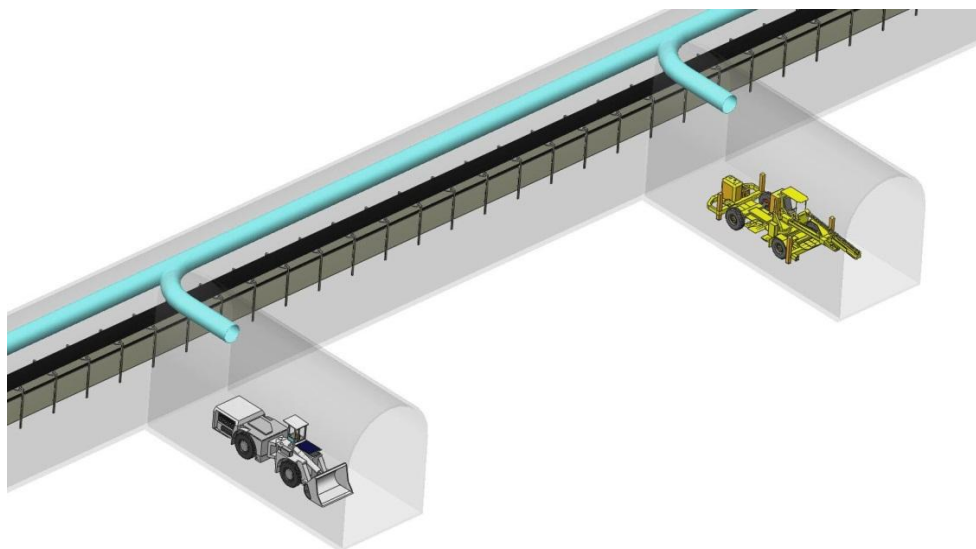


Abbildung 10-16: Darstellung des Bohrprozesses und der Abförderung des Haufwerks im Oberbecken

### Maschinenkette

Für die Auffahrung der Strecken wird die in der Tabelle 10-3 aufgeführten Maschinenkette erfolgen.

Maschine	Anzahl	Modell	Kapazität [ton]	Antrieb	Leistung [kW]	Dimension L*B*H
Fahrlader	2	GHH- LF-4.5, Seitenkipper	4-4,5	Diesel	86- 107	7,3*1,8* (1,8- 2,2)
Bohrwagen	1-2	Sandvik DD 420- 60	-	Elektrohydraulisch	110	
Bühnenfahrzeug	2	HFH- Orion III	-	Diesel	125	8,15*6*2,6
Gurtförderanlage	1	HESE-TT Antrieb	60 t/h	Elektrisch	200	L=1000 $\Delta z=-40$
Gurtförderanlage	1	HESE- TT Antrieb	60 t/h	Elektrisch	200	L=6700 $\Delta z=-250$

Tabelle 10-3: Die Maschinenkette zur Auffahrung der Strecken im Oberbecken

### 10.5.6 Fördertechnik und Logistik- Unterbecken

Von zentraler Bedeutung für die Abförderung des Haufwerks aus dem Unterspeicherbecken ist der Blindschacht 1. Dieser wird sowohl für die Seilfahrt als auch für die Güter-

und Materialförderung genutzt. Der Blindschacht 2 dient ebenfalls als Seilfahrtschacht, sowie als weiterer zweiter Fluchtweg und Frischwetterschacht.

Das Haufwerk aus dem Unterspeicherbecken wird von der +150 m ü. NN Sohle über die vorhandene Rampe zwischen der +180 m und der +120 m- Sohle mittels einer Bandanlage zu dem vorhandenen Füllort auf der Sohle +120 m gefördert. Von dort aus wird das Haufwerk in Förderwagen abgezogen und über den Blindschacht 1 auf die Stollensohle gefördert. Das ursprünglich genutzte Fördersystem besteht aus E-Loks und Förderwagen mit einem Fassungsvermögen von jeweils 0,63 m<sup>3</sup> und einem Gestell mit 2\*2 Förderwagen (ca. 7 Tonnen). Ein ähnliches System mit Anpassung an die neuen Technologien wird hier zur Förderung des Haufwerkes bevorzugt, da das Gleissystem teilweise noch erhalten ist und andere Fördersysteme aufgrund der räumlichen Einschränkungen im Pöhla-Stollen nur bedingt einsetzbar sind. Das Haufwerk wird über den Pöhla-Stollen gleisgebunden zur Luchsbachshalde gefördert.

Maschine	Anzahl	Hersteller bzw. Modell	Nutzlast [ton]	Antrieb	Leistung [kW]	Dimension L*B*H
Fahrlader	2	GHH- LF-4,5, Seitenkipper	4-4,5	Diesel	86- 107	7,3*1,8* (1,8-2,2)
Bohrwagen	1-2	Sandvik DD 420-60	-	Elektrohydraulisch	110	
Bühnenfahrzeug	2	HFH- Orion III	-	Diesel	125	8,15*6*2,6
Gurtförderanlage	1	HESE-TT Antrieb	60 t/h	Elektrisch	200	L=1200 Δz=-40
Gestellförderung	1	SIEMAG-TECBERG	10	Elektrisch	1000-1500	-

Tabelle 10-4: Maschinenkette- Unterbecken

### 10.5.7 Maschinenkaverne

Die Erschließung der Maschinen- und Trafokaverne erfolgt über die Zugangsstrecke auf der +120 m ü. NN -Sohle.

Der Ausbruch der Kalotte unterteilt sich dabei in drei Teilausbrüche. Ein zentraler Teil, mit einer Querschnittfläche von ca. 30 m<sup>2</sup> wird über die gesamte Länge der Kaverne ausgebrochen und gesichert. Danach folgen die beiden seitlichen Aufweitungen, welche ebenfalls ausgebaut werden.



Die Auffahrung der Strosse erfolgt in Etappenhöhen von vier bis fünf Meter. Die Abförderung des Ausbruchmaterials erfolgt über den Zugang zur Kaverne

Das Haufwerk wird von der +120 m Sohle mittels einer Bandanlage zu dem Füllort am Blindschacht 1 auf die +120 m Sohle befördert. Die anschließenden Arbeitsschritte erfolgen dann wie in Kapitel Fördertechnik und Logistik- Oberbecken beschrieben.

#### **10.5.7.1 Materialtransport**

Das Krafthaus besteht aus einem Maschinensatz und Transformatoren. Die Maschinenteile werden über den Pöhla Stollen und anschließend durch den Blindschacht 2 ggf. mit Hilfe einer temporären Winde nach unter Tage transportiert und von dem Blindschacht 2 zu der Maschinenkaverne mit Hilfe gleisloser Fahrzeuge. Das heißt der Transport wird an zwei Stellen unterbrochen und von der horizontalen Transportebene in die vertikale gewechselt. Ein großer Vorteil bieten die vorhandenen ausreichend dimensionierten Füllorte auf der +120 m. NN Sohle und auf der Stollensohle. Die sehr langen Maschinenteile werden in den 9 m hohen Füllort eingelassen und weiter transportiert. Eine Alternative für den Transport der schweren und großen Maschinenteile bietet das Wetterüberhauen 15 mit fast 19 m<sup>2</sup> Querschnitt, um so den Transport über die kritische Engstelle des Pöhla-Stollens zu umgehen. Dabei ist zu beachten, dass der Stollen 15 mit 7, 3 m<sup>2</sup> Querschnitt für diesen Zweck einer Erweiterung bedarf.

#### **10.5.8 Bewetterung und Klimatisierung**

Der Wetterbedarf für die untertägigen Aktivitäten in Pöhla lässt sich hinsichtlich folgender Kategorien untergliedern:

##### Dieselmotoren

Die Dieselmotoren sind die Haupteinflussfaktoren bei der erforderlichen Wettermenge. Nach den technische Regeln für Gefahrenstoffen sind „Bei Bauarbeiten unter Tage ist zur Bemessung der Bewetterung für jede Arbeitsstelle, an der Dieselmotoren eingesetzt werden, eine Frischluftmenge von 4,0 m<sup>3</sup>/min je eingesetztem kW anzusetzen.“/20,S.30/

##### Auffahrtechnik

Die ausgewählte Auffahrungstechnik spielt auch bei der erforderlichen Wettermenge eine große Rolle. Für die konventionelle Auffahrung wird eine größere Wettermenge benötigt als bei maschineller Auffahrung, da Sprenggase entstehen, die aus dem Grubengebäude zu entfernen sind. In der Regel wird pro kg verwendeten Sprengstoff 0,031 m<sup>3</sup>/s Frischwetter

benötigt. Nach jeder Sprengung ist eine 20 minütige Arbeitspause anzusetzen, um eine ausreichende Grubensicherheit zu gewährleisten.

### Personen

Laut der Allgemeinen Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen im Oberbergamtsbezirk Clausthal-Zellerfeld (ABVO), § 113 Abs. 4 gilt: „Allen Betriebspunkten in nicht gesperrten Grubenbauen ist (...) für jede dort beschäftigte Person eine Wettermenge von mindestens 2 m<sup>3</sup> /min zuzuführen; Ausnahmen kann das Bergamt erteilen“  
/21/

### Strahlungsschutz

Von grundlegender Bedeutung für den Wettermengenbedarf zur Gewährleistung des Strahlenschutzes sind der zu bewetternde Hohlraum und der spezifische Radonaustritt. Die Zahlen, die die Strahlenbelastung während der Betriebszeit dokumentieren, zeigen, dass der Radonzufluss in den Abbaugebieten höher war als der Mittelwert in anderen Grubengebäuden. Die Untersuchungen während der Stilllegung des Bergwerks verzeichneten eine sinkende Tendenz des Radonzuflusses. Die Verringerung des Abbauhohlraumes ist die Ursache für die gesunkene radioaktive Ableitung im Gegensatz zu der Belastung während der Betriebszeit. Es ist zu erwarten, dass dieser Koeffizient während der Betriebsphase des PSWuT noch geringer ist, da die Speicherbecken außerhalb der Uranlagerstätte liegen und nur ein kleiner Bereich von den Aus- und Vorrichtungen des Bergwerks als Zugang zur Maschinenkaverne genutzt wird.

Die Wetterführung durch die Teillagerstätte Tellerhäuser ist durch sehr lange Wetterwege (Pöhla-Stollen) gekennzeichnet. Ein Teil der Frischwetter wird über den Pöhla-Stollen bis zum Blindschacht 2 geführt. Dadurch ist mit einer Vorbelastung der Frischwetter über der Stollensohle zu rechnen. Die Einhaltung der maximal zulässigen Konzentration der Radonfolgeprodukte bis zu den Abwetterpunkten ist bei Anwendung des folgenden Diagramms als Grundlage zur Frischwetterberechnung gewährleistet.

1. Die Ermittlung der Wettermengen erfolgt nur für den offenen Hohlraum unter der Stollensohle.
2. Die Vorbelastung der Wetter mit Radonfolgeprodukten (E) am Blindschacht 2 kann mit  $E = 5 \text{ MeV cm}^{-3}$  angenommen werden. /22/

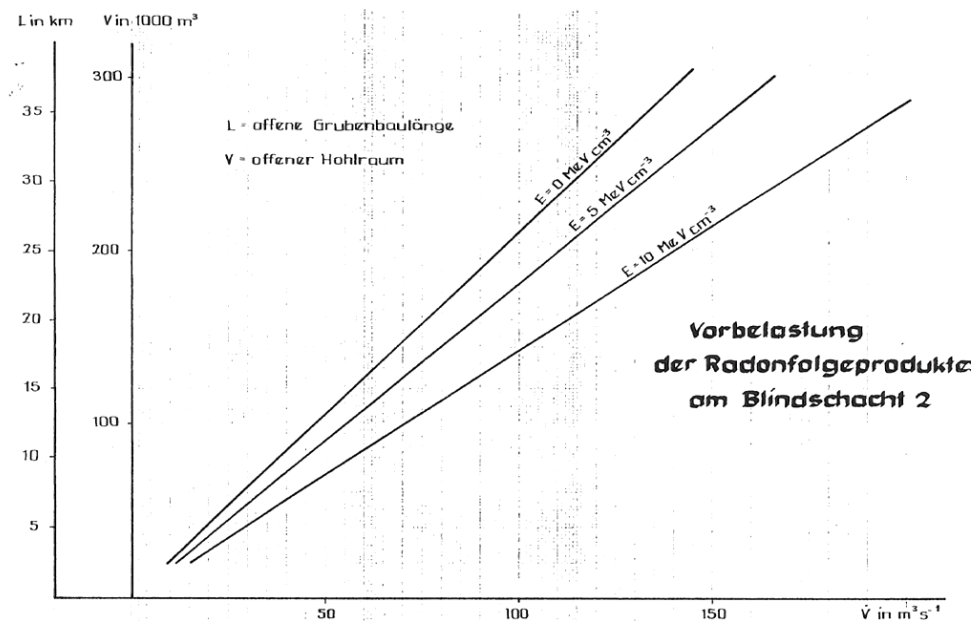


Diagramm 10-1: Wetterbedarf nach Strahlenschutz in Pöhla [22]

Nach diesem Diagramm muss für den 3,5km langen, unter der Stollensohle liegende Hohlraum ungefähr 25 m³/s Luft zur Verfügung stehen, um die gesetzlichen Vorschriften zu erfüllen.

#### 10.5.8.1 Oberbecken

##### Wetterbedarf: Variante 1- Abförderung mittels Muldenkipper

Das Speicherbecken ist während der Bauphase mit Sonderbewetterung zu bewettern.

Wie schon erwähnt ist bei dieser Variante mit fünf Dieselmotoren zu rechnen. Unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrads ist für das Oberbecken ein Mindestwetterbedarf von 48,5 m³/s anzusetzen.

Für das Oberbecken ist keine radioaktive Strahlung zu erwarten, da das gesamte Becken und dessen Zugänge außerhalb der Uranlagerstätte liegen. Aus diesem Grund wird keine zusätzliche Mindestwettermenge nach Strahlungsschutz benötigt.

In der folgenden Tabelle sind die Berechnungen für den Wetterbedarf hinsichtlich der einzusetzenden Auffahrungs- und Fördertechnik aufgeführt. Eine saugende Sonderbewetterung wird aufgrund der Sprenggase bevorzugt. Der Nachteil dabei ist jedoch der hohe Druckverlust in den Wetterkanälen.

Nr.	Ziel der Bewetterung	Wetterbedarf pro Einheit	Anzahl	Summe (m <sup>3</sup> /s)
1	Person	0.03 m <sup>3</sup> /s Pro Person	20	0.60
2	Dieselmotoren 2 * Fahrlader 3 * Muldenkipper	0.067 m <sup>3</sup> /s Pro kW	2 * 107 kW 3 * 170 kW	48,5
3	Sprengung	0.031 Pro kg Sprengstoff	238 kg	8,8

Tabelle 10-5: Wetterbedarf nach einzelner Kategorien für Oberbecken Variante 1

#### Wetterbedarf: Variante2: Abförderung mittels Gurtbandförderers

Bei einer Sonderbewetterung in dieser Variante ist mit einer Reduzierung des Wetterbedarfs zu rechnen, da statt der Muldenkipper Bandanlagen eingesetzt werden. In der folgenden Tabelle sind die Berechnungen für den Wetterbedarf aufgeführt. Mit Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrades beträgt der Wetterbedarf 14,34 m<sup>3</sup>/h.

Nr.	Ziel der Bewetterung	Wetterbedarf pro Einheit	Anzahl	Summe (m <sup>3</sup> /s)
1	Person	0.03 m <sup>3</sup> /s Pro Person	20	0.60
2	Dieselmotoren 2 * Fahrlader	0.067 m <sup>3</sup> /s Pro kW	2 * 107 kW	14,34
3	Sprengung	0.031 Pro kg Sprengstoff	238 kg	9

Tabelle 10-6: Wetterbedarf nach einzelner Kategorien für Oberbecken

#### **10.5.8.2 Unterbecken**

Ähnlich wie beim Oberbecken muss das Unterbecken sonderbewettert werden. Der Wetterbedarf in diesem Fall beträgt 14,34 m<sup>3</sup>/h. Einziger Unterschied im Vergleich zu der der Bewetterung des Oberbeckens ist, dass die Abwetter des Unterbeckens an das Hauptbewet-

terungssystem des Bergwerks angeschlossen werden sollen. Daher ist der Wetterbedarfs des Bergwerks auch unter Berücksichtigung der Strahlung zu berechnen. In der Tabelle 10-7 ist der Wetterbedarf nach verschiedenen Kategorien aufgeführt. Daraus lässt sich der maximale Wetterbedarf von 25m<sup>3</sup>/s entnehmen.

Nr.	Ziel der Bewetterung	Wetterbedarf pro Einheit	Anzahl	Summe [m <sup>3</sup> /s]
1	Person	0.03 m <sup>3</sup> /s Pro Person	20	0.60
2	Dieselmotoren 2 * Fahrlader	0.067 m <sup>3</sup> /s Pro kW	2 * 107 kW	14,34
3	Sprengen	0.031 Pro kg Sprengstoff	238 kg	9
4	Strahlung			25

Tabelle 10-7: Wetterbedarf nach einzelnen Kategorien für Unterbecken

### 10.5.8.3 Maschinenkaverne

Die Maschinenkaverne ist über das Bewetterungssystem des Bergwerks zu bewettern. Die Simulation des Wetterstroms (siehe Abbildung 10-17) zeigt, dass in der Kaverne in manchen Bereichen Wetterturbulenzen vorkommen. Die Dimension der Kaverne kann in manchen Bereichen Wetterturbulenzen verursachen. Dabei ist die Einrichtung von Druckventilatoren in der Kaverne zu empfehlen.

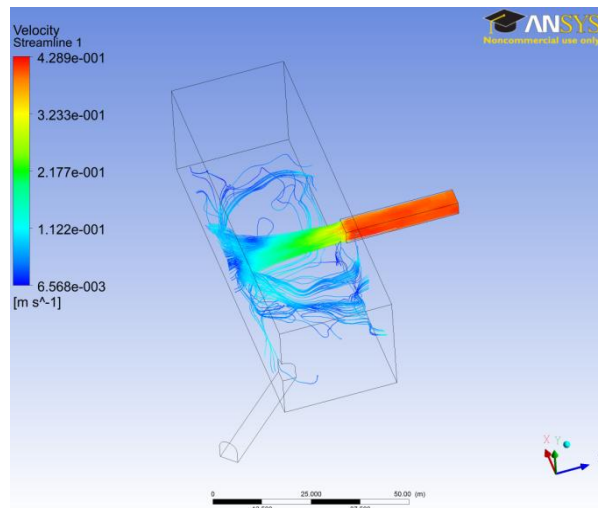


Abbildung 10-17: Simulation des Wetterstroms in der Maschinen- Trafokaverne

### 10.5.9 Betriebswasser des PSWuT

Im Rahmen der Betriebszeit des Bergwerks wurde das Betriebswasser dem Luchsbach entnommen, der zu diesem Zweck abgedämmt wurde. Diese Option wird aufgrund möglicher wasserrechtlicher Einschränkungen nicht weiter betrachtet.

Im Pöhla-Stollen fließen zurzeit durchschnittlich 35 m<sup>3</sup>/h Wasser, was für die Befüllung der Speicherbecken nicht ausreicht.

Aus den genannten Gründen muss das erforderliche Betriebswasser für die Becken zum Teil aus dem Sumpf- bzw. Zulaufwasser aus der Lagerstätte entnommen werden. Zurzeit befinden sich ca. 1.000.000 m<sup>3</sup> Hohlraum unter Wasser, davon werden 345.000 m<sup>3</sup> als Betriebswasser benötigt. Dieses Wasser wird in mobilen Wasserbehandlungsanlagen, die auf dem Stollen Niveau installiert werden, behandelt und in das aufgefahrene Oberbecken gepumpt.

## 10.6 Bergbauliche Maßnahmen während der Betriebsphase des PSWuT

### 10.6.1 Bewetterung und Klimatisierung

Das PSWuT muss in der Betriebsphase pausenlos bewettert werden. Das Hauptbewetterungssystem ist dabei saugend und dazu werden einige Wetterwege des alten Wettersystems genutzt.

### 10.6.1.1 Wetterbedarf

Während der Betriebsphase des PSWuT muss das Bewetterungssystem der Abwärme des Maschinensatzes und der Transformatoren entgegenwirken. Es wird mit maximal 5 MW Verlust des Maschinensatzes und Trafos gerechnet. Durch das Kühlungssystem wird nur 250 kW in die Wärme umgewandelt. Der Wetterbedarf während der Betriebsphase des PSWuT ist in der Tabelle 10-8 aufgeführt. Auch hier ist der maximale Wert mit 25 m<sup>3</sup>/h anzunehmen. Der genannte Wetterbedarf bezieht sich auf das Grubengebäude unterhalb des Stollenniveaus

Nr.	Ziel der Bewetterung	Wetterbedarf pro Einheit	Anzahl	Summe [m <sup>3</sup> /s]
1	Person	0.03 m <sup>3</sup> /s Pro Person	6	0.18
2	Abwärme von Maschinen (Maschinensatz und Tra- fo)	0,035 m <sup>3</sup> /h pro kW Abwärme	0,25 MW	9
3	Strahlung			25

Tabelle 10-8: Wetterbedarf während der Betriebsphase

In der Tabelle 10-9 sind die Funktionen und deren Wetterbilanz einzelner Wettergrubenbaue einzusehen.

Bezeichnung	Funktion	Wettermenge [m <sup>3</sup> /s]
Stollen Pöhla	Frischwetter einziehend	12
Stollen 15 + WÜ15	Frischwetter einziehend	18
Blindschacht 2	Frischwetter einziehend	25
Blindschacht 1	Abwetter ausziehend	25
Stollen 7 + WÜ7	Abwetter ausziehend	30

Tabelle 10-9: Bilanz und Funktion der Wettergrubenbaue

### 10.6.1.2 Bewetterungskonzept

Die Frischwetterversorgung von über Tage aus erfolgt über den Hauptstollen Pöhla und die Stollen 15 mit dem Frischwetterüberhauen (FWÜ)15. Für die Abwetterführung wird der erforderliche Unterdruck auf der Sohle +785 m ü. NN bzw. +600 m ü. NN durch Lüfterstationen mit einem Hauptlüfter erzeugt. Der Blindschacht 1 und das



Abwetterüberhauen (AWÜ) 7 dienen als Hauptabwettersysteme, die die Abwetter vertikal nach über Tage führen.

Für die weitere Verteilung der Frischwetter von der Stollensohle auf die Sohle der Maschinenkaverne dient der Blindschacht 2 und für die Zusammenführung der Abwetter zu dem AWÜ 7 dient der Blindschacht 1. Das Bewetterungskonzept ist in der Abbildung 10-18 dargestellt.

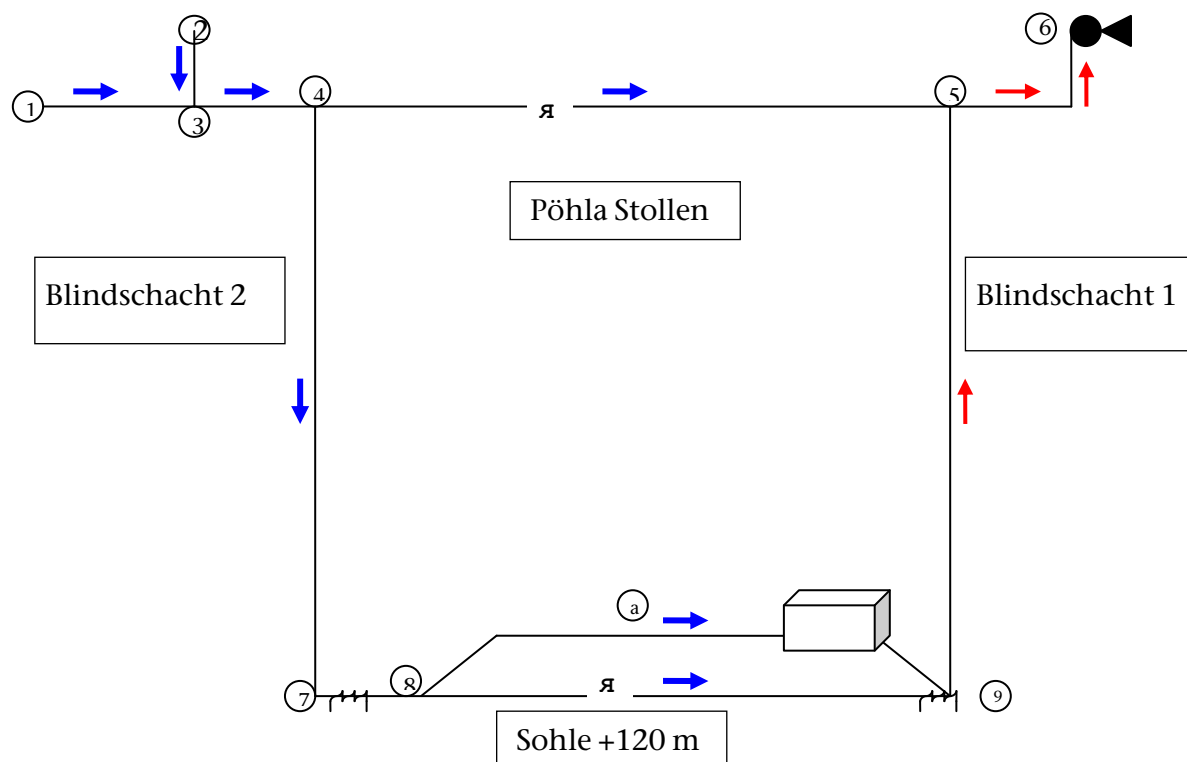


Abbildung 10-18: Bewetterungskonzept des Erzbergwerks Pöhla während der Betriebsphase

	Kühlungssystem
<b>Я</b>	Luftregulator
	Hauptlüfter
	Maschinen- und Trafokaverne

Tabelle 10-10: Legende der Abbildung 10-18

Die notwendigen Wetterströme und die entsprechenden Wettereinrichtungen in den einzelnen Abschnitten des Grubengebäudes des PSWuT sind in der Tabelle 10-11 zusammengefasst.

Abschnittsanfang		Widerstand [Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup> ]	Wetterstrom [m <sup>3</sup> /s]	Druckverlust [Pa]	Anmerkung
von	bis				
1	3	0.572	12	82.37	
2	3	0.092	18	29.81	
3	4	0.5	30	450	
4	5	0.8+R	5	20+Pr	Regulator R=4.61 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup> A= 0.56 m <sup>2</sup>
5	6	0.08	30	72	
4-7	8	0.098	25	61.25	
8	9	0.01+R	16	2.56+Pr	Regulator R=0.015 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup> A=9.69 m <sup>2</sup>
8-a	9	0.08	9	6.48	
9	5	0.108	25	67.5	

Tabelle 10-11: Zusammenfassung des Bewetterungskonzept des PSWuT im Erzbergwerk Pöhla

### 10.6.1.3 Belüftung der Speicherbecken

Die Speicherbecken werden während der Betriebsphase mit Hilfe einer natürlichen Bewetterung belüftet. Während des Pumpprozesses setzt sich ca. 20 m<sup>3</sup>/s in Bewegung. Der Endbereich aller Speicherstrecken ist daher mit klein dimensionierten Wetterbohrlöchern zu versehen (siehe Abbildung 10-19). Diese Bohrlöcher sind maximal 0,5 m hoch, haben einen Durchschnitt von weniger Dezimeter und sind über eine Wetterstrecke miteinander verbunden. Diese Wetterstrecke wird an die Hauptbetriebsbereiche angeschlossen.

Die erforderlichen Wetter während der Entleerung des Oberbeckens werden durch die aufgefahrene Zugangsstrecke zur Verfügung gestellt. Während der Befüllung erfolgt eine Leitung der Wetter durch die Zugangsstrecke nach über Tage.

Die erforderlichen Wetter während der Entleerung des Unterbeckens werden durch die Entnahme aus dem Hauptwettersystem zur Verfügung gestellt. Während der Befüllung des Unterbeckens wird der dort befindliche Wetterstrom zur Abkühlung der Stromkabel verwendet. Dabei findet eine spezielle Einrichtung (z.B. automatische Wettertüre) Anwendung, welche eine Richtungsänderung der Wetterführung ermöglicht.

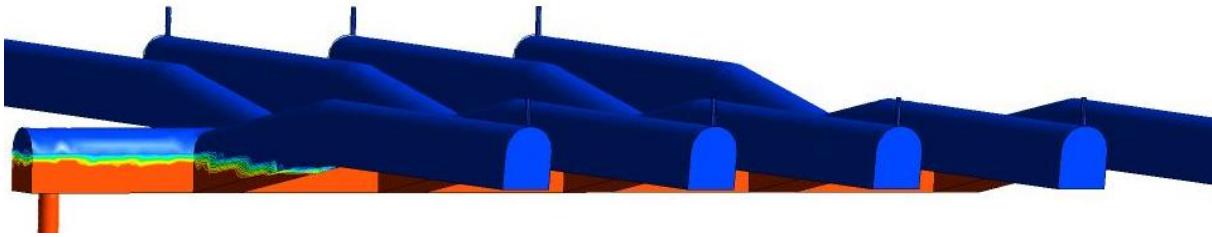


Abbildung 10-19: Wetterbohrlöcher in dem Speicherbecken

#### 10.6.1.4 Klimatisierung

Aus dem Diagramm 10-2 ist zu entnehmen, dass die Gebirgstemperatur auf der Sohle der Maschinenkaverne 31 °C beträgt. Aus Gründen der Arbeitssicherheit sollte eine Abkühlung der Temperatur auf 25° C erfolgen. Zu diesem Zweck finden mobile Grubenwetterkühler mit eigener Kälteerzeugung Einsatz. Das erwärmte Kühlwasser kann in den Wasserbecken abgekühlt und dem Kreislauf erneut zugeführt werden. In der Abbildung 10-18 sind die Lage von den Kühlungssystemen dargestellt.

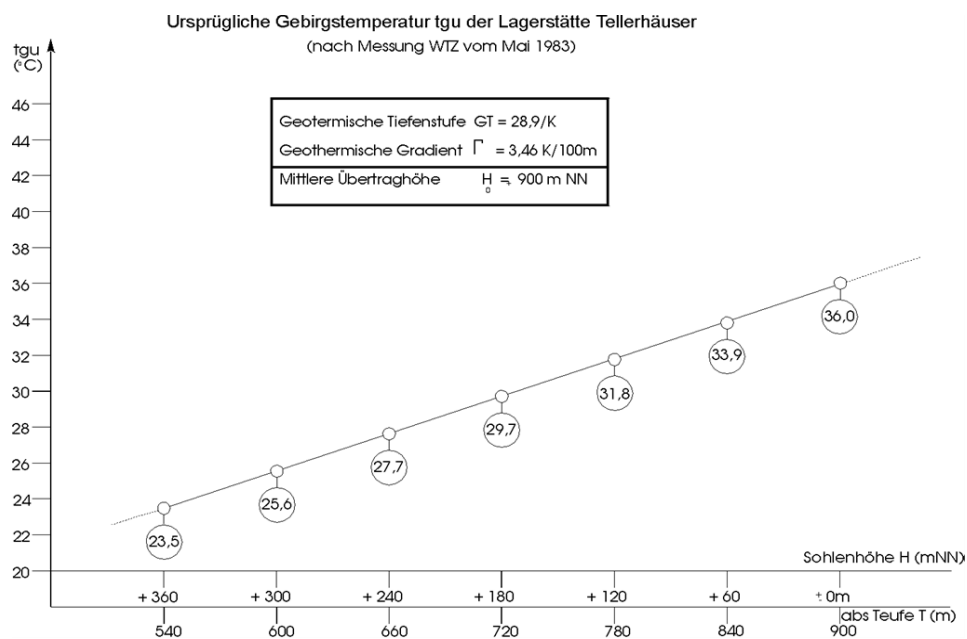


Diagramm 10-2: Bergwerkstemperatur Pöhla

#### 10.6.2 Trockenlegung des Bergwerks

Wie bereits erwähnt, ist das Bergwerk Pöhla bis zum Niveau des Pöhla Stollens geflutet. Zurzeit wird das übergelaufene Flutungswasser (ca. 15 m³/h) über eine Rohrleitung im Pöhla Stollen zu einer Wasserbehandlungsanlage über Tage geführt und nach der Aufbereitung in den Luchsbach eingeleitet. Diese Wasserbehandlungsanlage wird demnächst auf eine Durchlaufmenge von 60 m³/h erweitert.

Im Bergwerk Pöhla (hydraulisch verbundene Grubengebäude der Lagerstätten Hämmerlein und Tellerhäuser) lagen die Wasserzulaufmengen in den letzten Bergbaujahren bei ca. 120 m<sup>3</sup>/h (Zulauf aus Infiltrationswässern und aus statischen Wasservorräten in Karsthohlräumen) und gingen nach Einstellung des Abbaus auf 70–80 m<sup>3</sup>/h zurück. Es ist anzunehmen, dass in der Betriebsphase des PSWuT die durchschnittliche Wasserzulaufmenge 70–80 m<sup>3</sup>/h beträgt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Wassermenge wegen Unreinheiten bzw. aufgrund radioaktiver Belastungen möglicherweise behandelt werden muss. Eine Reduzierung der Wasserzulaufmenge auf bis zu 60 m<sup>3</sup>/h durch den Bau von Druckdämmen in den Sohlen, die unbenutzt bleiben, ist zu empfehlen. Dadurch können die hohen Kosten, die bei der Neuauslegung einer Wasserbehandlungsanlage anfallen, eingespart werden. Die Trockenlegung des PSWuT erfolgt mit Hilfe von zwei Kreiselpumpen mit einer Leistung von 600 kW (200 m<sup>3</sup>/h). Die Zulaufwässer werden in Rohleitungen durch die Blindschächte hochgepumpt und über den Pöhla-Stollen zur Wasserbehandlungsanlage geführt.

### **10.6.3 Mannschaftstransport bei Revisionen**

Der Mannschaftstransport erfolgt bei Revisionen und Befahrungen zum/vom Blindschacht 2 auf der Stollensohle mit einem Mannschaftswagen im Zugverband. Die Seilfahrt wird hauptsächlich in dem Blindschacht 2 erfolgen. Der Weg zur Maschinenkaverne kann entweder zu Fuß erfolgen oder durch Gleislofsfahrzeuge.

### **10.6.4 Materialtransport bei Revisionen**

Der Transport der Ersatzteile für Reparaturen erfolgt analog zum Transport während der Bauphase durch den Pöhla-Stollen und anschließend durch den Blindschacht 1. Falls sich der Pöhla-Stollen aufgrund seiner eingeschränkten Räumlichkeit nicht für den Transport eignet, wäre ein Materialtransport durch den Stollen 15 und anschließend das Wetterüberhauen 15 möglich.

### **10.6.5 Fluchtkonzept**

In Deutschland muss jedes Bergwerk über zwei separate Fluchtwege verfügen. Dieselbe Vorschrift gilt für PSWuT.

Im Rahmen der Betriebszeit des Bergwerks wurde der Pöhla-Stollen als ein Fluchtweg genutzt. Um einen zweiten Fluchtweg für das Gebiet Tellerhäuser nach über Tage zu erhalten, war im Bereich des Blindschachtes 2 das Überhauen 15 hochgebrochen und im bereits vorher aufgefahrenen Wetterstollen 15 (Zweibach) zum Durchschlag gebracht wor-

den. Das WÜ 15 diene neben der Frischwetterzuführung auch als 2. Fluchtweg von der Stollensohle nach über Tage.

Das gleiche Konzept soll auch hier Anwendung finden. Es muss dabei beachtet werden, dass die beiden Blindschächte über ein Notfahrhaspel verfügen und bei Havariefällen bzw. bei Notfällen von einem Notstromaggregat von der oberen Sohle aus versorgt werden. Laut gesetzlicher Vorschriften ist die Einrichtung von Fluchtkammern an beiden Blindschächten erforderlich. Die Bewetterung der Kammern erfolgt über Druckluft und die notwendige Energie wird über das Notstromaggregat der oberen Sohle bereitgestellt. Darüber hinaus sind Telekommunikationsgeräte in den Kammern installiert. In der Abbildung 10-20 ist eine mögliche Kabelführung dargestellt./23/

#### 10.6.6 Kabelführung

Im Bergwerk Pöhla besteht die Möglichkeit die Hochspannungs- bzw. Mittelspannungskabel durch die drei räumlich von dem Betriebsbereich abgetrennten Blindschächte zu führen. Eine mögliche Kabelführung in Pöhla ist in der

Abbildung 10-20 dargestellt.

Eine Kombination der Wetterüberhauen 40 ,40/4 und 7 wird für die Kabelführung vorgeschlagen. In der Tabelle 10-1 sind die Dimensionen dieser Grubenbaue aufgelistet.

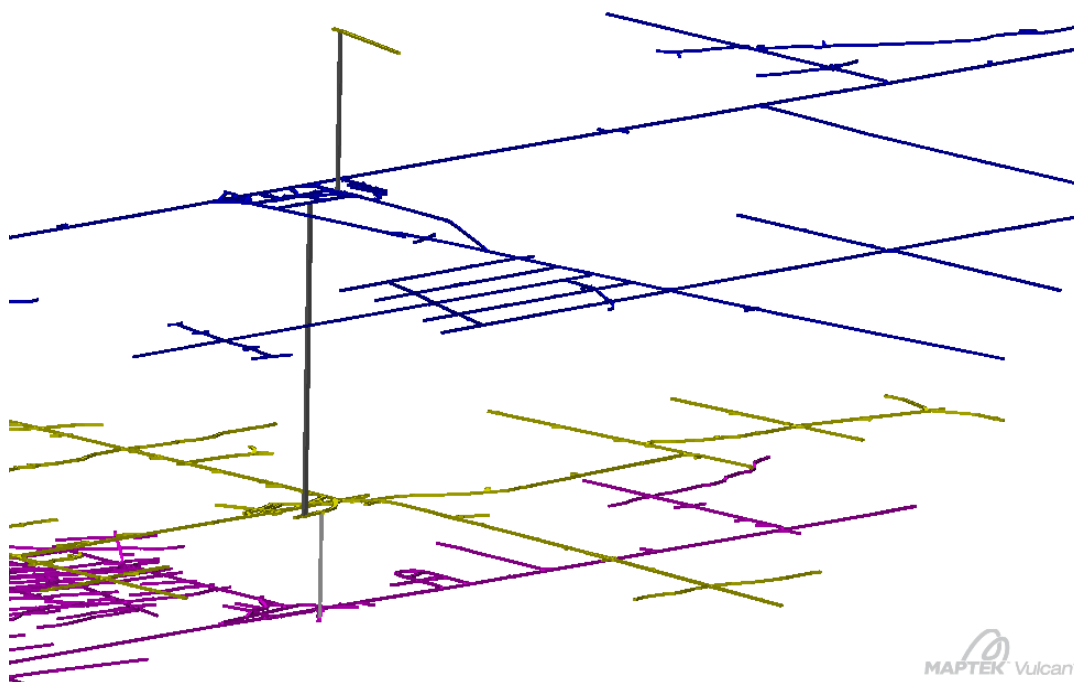


Abbildung 10-20: Kabelführung in Pöhla

## 10.7 Rückbau

Es wird mit einer Betriebsdauer von 100 Jahren für das konzipierte PSWuT gerechnet.

Nach der Entsorgung der Maschinenteile sowie umweltbelastender Gegenstände wird das ganze Bergwerk inklusive Speicherbecken saniert, die Tagesöffnungen werden verfüllt und geschlossen. Das Bergwerk bzw. das zukünftige PSWuT wird nach jetzigem Verwahrungsplan (wenn man von Kenntnisstand von Heute ausgeht) geflutet. Bei der Verwahrung in 100 Jahren kann mit im Vergleich zum heutigen Stand strengeren Vorschriften im Bereich radioaktiver Umweltbelastung gerechnet werden.

## 10.8 Prinzip -Darstellung

Das PSWuT Konzept kann schematisch wie folgt dargestellt werden:

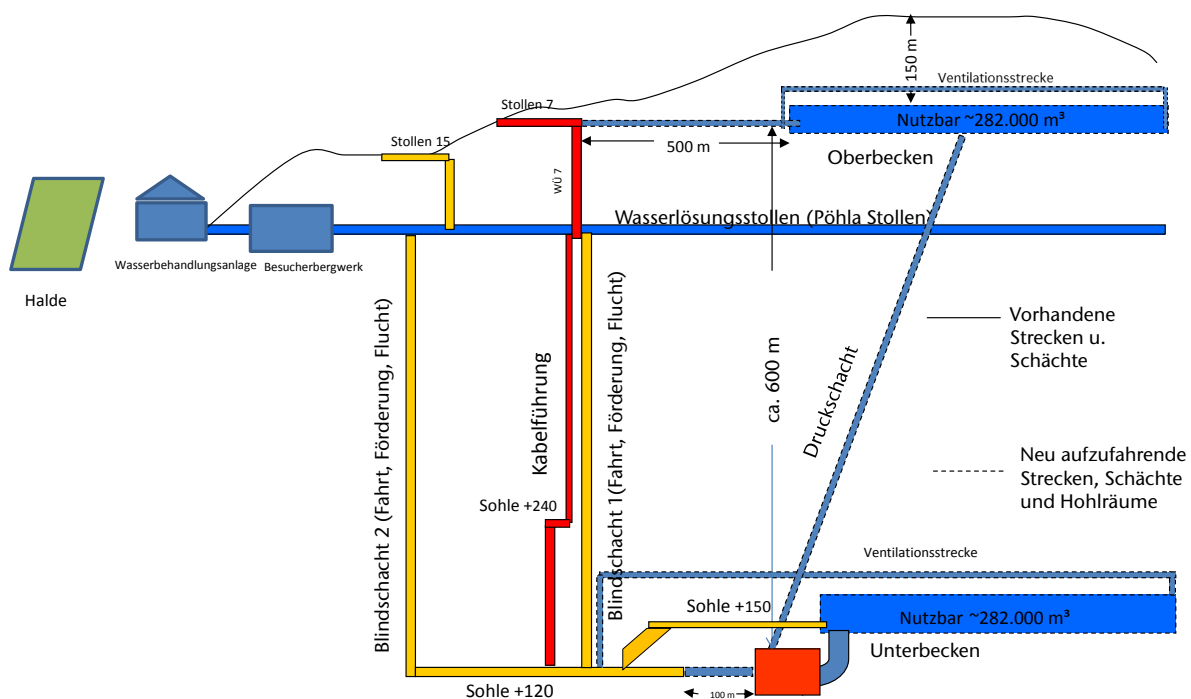


Abbildung 10-21: Schematische Darstellung des PSWuT-Bergwerks Pöhla

## 10.9 Fazit

Als zweites Pilotbergwerk wurde das ehemalige Erzbergwerk Pöhla ausgewählt. Anhand der zahlreichen vorhandenen Risswerke wurden zwei 3-D Modelle des Bergwerks in ArcGis und in Vulcan erstellt. Aus dem ArcGis Modell wurden die geografischen Grenzen wie die Schutzgebiete, alte Abbaugelände sowie Störungszonen und deren Abstand zu den

potenziellen PSWuT Komponenten untersucht. Dabei wurde die grobe Lage dieser Komponenten bestimmt. Anhand der Vulcan Software wurde das Bergwerk konstruiert und ein detailliertes PSWuT Konzept durchgeplant. Anschließend wurden die Lage und das Volumen der neu aufzufahrenden Hohlräume bestimmt. Dabei fanden das Bewetterungs- sowie Fluchtkonzept eine besondere Berücksichtigung. Die einzelnen Arbeitsschritte sowie die Maschinenauswahl für die Herstellung der Hohlräume wurden bestimmt. Es wurde zusätzlich eine Strömungssimulation mit der Software ANSYS durchgeführt, um zu analysieren, wie sich die aus den Phasen Luft und Wasser bestehende Zwei-Phasen-Strömung während des Leer- bzw. Füllprozesses innerhalb des Unter- und Oberbeckens verhält.

Ein großer Vorteil bei diesem Standort besteht in den zahlreichen offenen Zugängen, die zur Errichtung des PSWuT nachgenutzt werden können. Das Bergwerk Pöhla verfügt über keinen bis zur letzten Sohle durchgehenden Tagesschacht, was eine große Rolle bei der Dauer der Bauphase spielen kann. Ebenso die Wasserbehandlung wegen radioaktiver Belastungen kann einen großen Kostenfaktor darstellen. In Pöhla wird eine mittlere Fallhöhe von 600 m erzielt. Es werden 23.600 m aufzufahrende Strecken mit einem Querschnitt von 30 m<sup>2</sup> benötigt (354.000 m<sup>3</sup> Auffahrung für jedes Speicherbecken mit einem Mindestnutzvolumen von 283.000m<sup>3</sup>). In der Zwei-Stunden Variante wird für jedes Speicherbecken ein Gesamtvolumen von 172.500 m<sup>3</sup> erzielt. Der Druckschacht wird mit einer Neigung von ca. 70° bei einer Länge von 700 m und einem Durchmesser von 3- 3,5 m erstellt.



## **11. Ausblick**

Im Rahmen der bergbaulichen Planungen wurde ein Konzept für ein untertägiges PSW mit einer Nennleistung von 100MW (Hauptszenario) entwickelt. Da die im Konzept erarbeiteten Speicherbecken aufgrund ihrer Modularität (siehe Teilbericht Gebirgsmechanik) grundsätzlich vergrößert werden können, kann auch dadurch die erzielbare Leistung erhöht werden. Voraussetzung dafür ist, dass an den Standorten Bad Grund und Pöhla auf dem Niveau von Ober- und Unterbecken ein für die Wasserbecken infrage kommender Gebirgsbereich frei von gebirgsmechanisch relevanten Störungen ist. Weiterhin muss im Bereich des Oberbeckens eine minimale Gebirgsüberdeckung von 100m vorhanden sein.

Unter der Annahme, dass alle großen Störungen bekannt sind und unter der Vorgabe, die Speicherbecken außerhalb der umliegenden Wasserschutzgebiete zu positionieren, könnte nach ersten Schätzungen ein 700.000 m<sup>3</sup> umfassendes Speichervolumen pro Speicherbecken bei einer maximal realisierbaren Fallhöhe von 700m erreicht werden. Somit könnte an dem Standort aus bergmännischer Sicht für die 4-Stunden-Variante die doppelte Leistung bzw. für 2-Stunden Variante die vierfache Leistung als geplant erreicht werden.

Analog zu dem Standort Bad Grund könnten auch die Speicher in Pöhla vergrößert werden. Unter den genannten Randbedingungen und bei mittlerer Fallhöhe von 600m kann theoretisch an dem Standort Pöhla ein PSW mit einem Speicherbeckenvolumen von 700.000m<sup>3</sup> und damit für die 4-Stunden-Variante fast zweieinhalbfache Leistung bzw. für die 2-Stunden-Variante fast fünffache Leistung realisiert werden. Durch die Nutzung der maximalen realisierbaren Fallhöhe von 640m ergäbe sich eine weitere Speicherkapazitäts-erhöhung.

Eine weitere Möglichkeit zur Realisierung des Projektes ist die Nutzung übertägiger Teiche und Seen als Oberbecken oder das Neuanlegen des Oberbeckens über Tage (Hybrid Lösung). Dadurch ließe sich nicht nur der Bauaufwand unter Tage verringern, sondern es könnte auch die erzielbare Leistung durch eine Vergrößerung der Fallhöhe erzielt werden.

Aufgrund natürlicher Gegebenheiten und unter Berücksichtigung naturschutzrechtlicher Aspekte kommt diese Variante des PSW nur für den Standort Bad Grund in Frage. Hier wäre es denkbar, die alte Betriebshalde als Oberbecken zu nutzen.

Eine weitere Option ist eine komplette Neuauffahrung. Dabei könnte unter Berücksichtigung insbesondere der geologischer Situation und der geographischer Lage ein optimaler Standort für ein PSWuT ausgewählt werden.



## **12. Literaturverzeichnis**

### **12.1 Allgemeine Fachliteratur**

- /1/ Baumann; Einführung in die Geologie; VEB Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig; 1. Auflage 1978
- /2/ Prinz; Abriss der Ingenieurgeologie; Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1991; 2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage 1991
- /3/ Keller; Angewandte Hydrogeologie; Verlag Wasser und Boden Axel Lindow & Co. Hamburg; 1. Auflage 1969
- /4/ Terzaghi; Ingenieurgeologie; Wien und Berlin / Verlag von Julius Springer; 1. Auflage 1929
- /5/ Herder Lexikon; Geologie und Mineralogie; Herder Freiburg Basel Wien; 1975
- /6/ Reuther; Lehrbuch der Bergbaukunde, Erster Band; Verlag Glück Auf GmbH Essen, 11. Auflage, 1989
- /7/ Fritsche; Lehrbuch der Bergbaukunde Band 1&2; Springer Verlag Berlin Heidelberg New York; 10. Auflage 1983
- /8/ Roschlau, Heintze; Wissensspeicher Bergbau Erzbergbau, Kalibergbau; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig; 3. stark überarbeitete Auflage 1975
- /9/ Roschlau, Heintze; Bergbautechnologie Erzbergbau, Kalibergbau; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig; 3. überarbeitete Auflage 1987
- /10/ Roschlau, Heintze; Bergmaschinentechnik Erzbergbau, Kalibergbau; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig; 3. überarbeitete Auflage 1981

### **12.2 Spezifische Quellenangaben**

- /11/ Ließmann, Winfried; Historischer Bergbau im Harz; Springer Verlag Berlin Heidelberg; 2. korrigierte und ergänzte Auflage; 1997
- /12/ Slotta; Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland: Die Kali- und Salzindustrie; Band 3; Herausgegeben vom Deutschen Bergbau-Museum Bochum 1980
- /13/ Slotta; Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland: Der Metallerzbergbau; Band 4; Herausgegeben vom Deutschen Bergbau-Museum Bochum 1983

- /14/ Slotta; Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland: Der Eisenerzbergbau; Band 5; Herausgegeben vom Deutschen Bergbau-Museum Bochum 1986
- /15/ Bergbau in Thüringen in Zahlen und Bildern 2002/2007; Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt; 2008
- /16/ Bergbau in Sachsen, Bergbaumonographie; mehrere Bände; Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Oberbergamt
- /17/ Die Sideriterzgänge im Siegerland-Wied-Distrikt, Sammelwerk; Geologisches Jahrbuch Reihe D, Heft 77; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter in der BRD; 1985
- /18/ Weyl, Gerhard; Die Eisenerzgrube Pfannenberger Einigkeit 1810- 1962 in Salchendorf/ Neukirchen; Neukirchen/ Salchendorf; 2005
- /19/ Chronik der WISMUT; Wismut GmbH; 2006
- /20/ Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 554); Abgase von Dieselmotoren; Ausgabe Oktober 2008
- /21/ Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen im Oberbergamtsbezirk Clausthal-Zellerfeld (ABVO) vom 02.02.1966( Nds. MBL. Nr. 15/1966, S. 377), zul. geä. durch Erster Teil Nr. 15 der Bekanntmachung vom 10. Januar 1996 (BAnz. S. 729)
- /22/ Bewetterung während und nach der Flutung der Lagerstätte Pöhla/ Tellerhäuser; SDAG Wismut; Chemnitz; Mai 1991
- /23/ Richtlinien des Landesoberbergamts Nordrhein-Westfalen für die Ermittlung zulässiger Fluchtweglängen im Steinkohlenbergbau unter Tage (Fluchtweg-Richtlinien) vom 18.12.1989
- /24/ <http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/services>
- /25/ Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
- /26/ Bekanntmachung der Neufassung der Bergverordnung für die Erzbergwerke, Steinsalzbergwerke und für die Steine- und Erden-Betriebe (BVOESSE) von 1. Juni 1999 in der Fassung vom 01. Mai 2001

## **13. Netzanbindung**

Für den Energietransport besteht die Notwendigkeit eine Verbindung zwischen dem Pumpspeicherwerk und dem bestehenden Übertragungs- oder Versorgungsnetz zu errichten. Zu diesem Zwecke wurden für beide Standorte, unter Berücksichtigung insbesondere der technischen, wirtschaftlichen und umweltschutzrechtlichen Aspekte, die Möglichkeiten der Netzanbindung für eine 110kV Leitung untersucht. Dabei wurden 3 Varianten des Netzausbaus (1) Freileitung, (2) Erdkabel und (3) Teilverkabelung betrachtet.

### **13.1 Grundsätze der Trassenplanung**

Der Prozess der Trassenfindung wird in erster Linie durch die energietechnischen und topographischen Gegebenheiten bestimmt.

Der Planungskorridor wird durch die Lage des Pumpspeicherwerkes und des Anbindungspunktes an das bestehende Stromnetz definiert. Weiterhin sind neben dem kurzen Wegverlauf u.a. die Grenzwerte für die Geländesteigung und minimale Geländebewegung zu beachten.

Unter Umweltschutzaspekten ist die Trasse so zu führen, dass eine Beeinträchtigung von Natur und Landschaft vermieden wird und nachhaltige Auswirkungen soweit, wie möglich vermindert werden.

Auch die Synergie- und Kooperationsmöglichkeiten mit bestehenden Infrastruktureinrichtungen wie z.B. anderen Ver- und Entsorgungsleitungen sollen, wo technisch möglich, zur Entlastung der Bevölkerung und Natur aufgegriffen werden. /3/

Weiterhin sind noch folgende Trassierungsgrundsätze für verschiedene technische Trassenausführungen zu berücksichtigen:

#### **1. Freileitung:**

- nach den Vorgaben des Niedersächsischen Landesraumordnungsprogramms /1/:
- Hinsichtlich der elektromagnetischen Auswirkungen ist der Mindestabstand von 100m zu den Wohnbaugebäuden einzuhalten (vgl. Begründung zum LROP 2008 zu Abschnitt 4.2, Ziff. 07, Sätze 6-8, wonach die gesetzlichen Anforderungen (26. BImSchV) hinsichtlich der elektromagnetischen Auswirkun-

gen bei einem Abstand von ca. 100 m zwischen Wohnbebauung und den Leitungen mit mehr als 110 kV Nennspannung die voll erfüllt sind. ).

- Hinsichtlich der Bündelung von Leitungstrassen ist der Ausbau der bestehenden Trassen vorrangig vor dem Bau neuer Trassen.
- Freileitungen sind in siedlungsfreien bzw. im dünn besiedelten Raum vorzunehmen.

## 2. Kabelvariante:

- Straßen, Fließgewässer, Versorgungs- und Entsorgungsleitungen sollen nicht in einem schleifenden Schnitt, sondern möglichst in einem 90°-Winkel gequert werden./2/
- Da die Kabeltrasse von Bebauung und tiefwurzelnden Pflanzen freigehalten werden muss, soll die Querung von Waldgebieten (wegen erforderlicher Schneise) minimiert werden.

## 3. Teilverkabelung:

- Beim Übergang des Erdkabels zur Freileitung sind die Übergangsanlagen mit einer Grundfläche von ca. 250m<sup>2</sup> zu berücksichtigen./2/
- Bei Parallelverlauf des Erdkabels zu einer Frei- oder einer anderen Versorgungs- bzw. Entsorgungsleitung ist ein Mindestabstand von ca. 10m von der Trassenachse bis zum Rand der Kabeltrasse einzuhalten./2/

## **13.2 Modellbergwerk Bad Grund**

### **13.2.1 Randbedingungen für die Planung**

Die geographisch nächstgelegene Anschlussmöglichkeit an das Versorgungsnetz für das Pumpspeicherwerk in Bad Grund ist im Umspannwerk in Münchenhof gegeben. Das Umspannwerk liegt ungefähr 7,8km (Luftlinie) vom Wiemannsbuchtschacht.

Der größte Teil des Planungskorridors Bad Grund-Münchenhof befindet sich in einem waldreichen Landschaftsschutzgebiet. Weiter geht der Planungskorridor westlich des Wiemannsbuchtschachts am Ort Bad Grund und nordwestlich am Flora-Fauna-Habitat-

Gebiet vorbei (siehe Abbildung 1-1). Der Anbindungspunkt an das bestehende Netz liegt dagegen direkt am Ort Münchendorf.

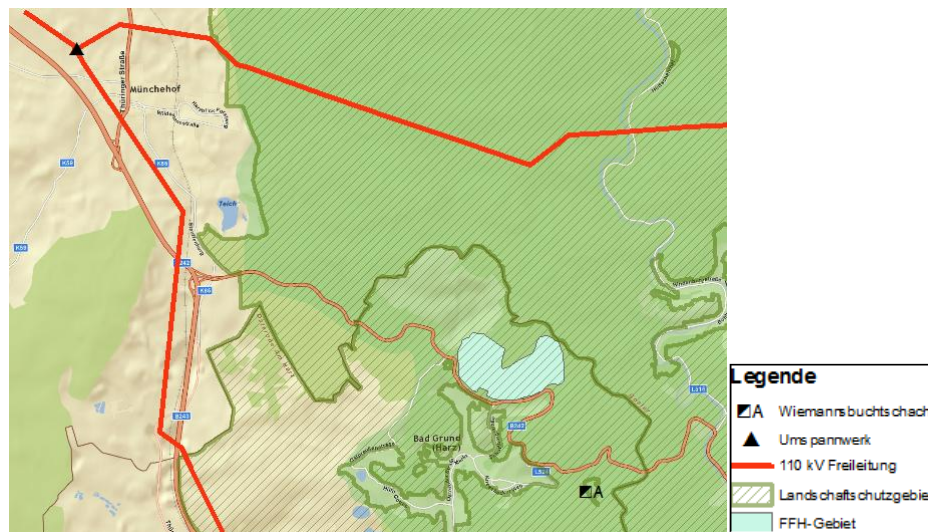


Abbildung 13-1: Planungskorridor Bad Grund - Münchendorf

Weiterhin stehen die Betriebsgebäude des Erzbergwerks Grund unter dem Denkmalschutz. Da eine Hochspannungsleitung eine deutliche Veränderung der Umgebung verursacht und damit zu einer Beeinträchtigung des Denkmalschutzes führt, ist aus den denkmalpflegerischen Gründen der auf dem Betriebsgelände und in direkter Nähe des Betriebsgeländes verlaufende Leitungsabschnitt unterirdisch zu verkabeln.

Basierend auf den genannten Randbedingungen sind für den Standort Bad Grund 2 Trassenvarianten entwickelt worden:

- Variante 1: Teilverkabelung
- Variante 2: Erdkabel

### 13.2.2 Variante 1 – Teilverkabelung

Im Planungskorridor Bad Grund-Münchendorf besteht die Möglichkeit, die vorhandene liniengebundene Infrastruktur weitestgehend zu nutzen. Dem Bündelungsangebot entsprechend und unter Berücksichtigung der energietechnischen Aspekte (aus netztechnischer Sicht ist die Mindestlänge von 1000m für einen Teilverkabelungsabschnitt erforderlich /2/) wurde der erste, 6km lange Abschnitt als Kabeltrasse ausgeführt. Davon führt der 2,3 km lange Abschnitt entlang der Bundesstrasse 242, weitere 1,9km verlaufen entlang



der Gasleitungstrasse von Harz Energie Netz GmbH. 1,3km der Leitung führen weiter durch das Waldgebiet bis zu der 110kV Freileitung von E.ON Netz GmbH. Von dort wird die Trasse aus bis zum Umspannwerk in Münchendorf als Freileitung parallel zu der bestehenden E.ON Freileitung ausgeführt. Eine Einspeisung ins E.ON Netz ist wegen fehlender Kapazität nicht möglich.

Der Trassenverlauf ist in der Abbildung 13-2 dargestellt. Wesentliche Angaben zu dieser Trassenvariante sind der Tabelle 13-1 zu entnehmen.

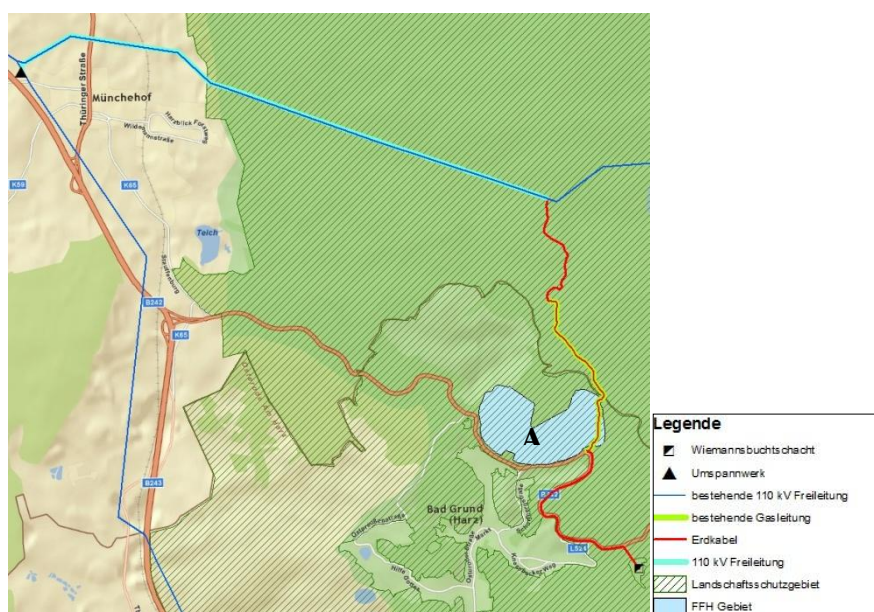


Abbildung 13-2: Trassenverlauf der Teilverkabelungsvariante

	Länge[km]	Technische Ausführung
<b>Neutrassierung</b>		
WBS – B242	0,5	Kabel
Gasleitung-E.ON Freileitung	1,3	Kabel
<b>Bündelung</b>		
B242	2,3	Kabel
Gasleitung	1,9	Kabel
E.ON Freileitung	6	Freileitung

Tabelle 13-1: Abschnittslängen und ihre technische Ausführung

Die Gesamtlänge dieser Trassenvariante beträgt 12km.

### 13.2.3 Variante 2- Erdkabel

Diese Variante ist eine durchgehende Kabeltrasse. Der erste Abschnitt ist gleich dem Erdkabelabschnitt in der Variante 1. Von dort wird ein 5,5km langer Abschnitt der 110kV Erdkabelleitung parallel zu der Gasleitungstrasse von Harz Energie Netz GmbH geführt. Der weitere Abschnitt bis zum Umspannwerk in Münchendorf führt entlang der Bundesstrasse 242 und der Kreisstraße 64.

Der Trassenverlauf ist in der Abbildung 1-2 dargestellt. Wesentliche Angaben dieser Trassenvariante sind in der Tabelle 1-1 zu entnehmen.

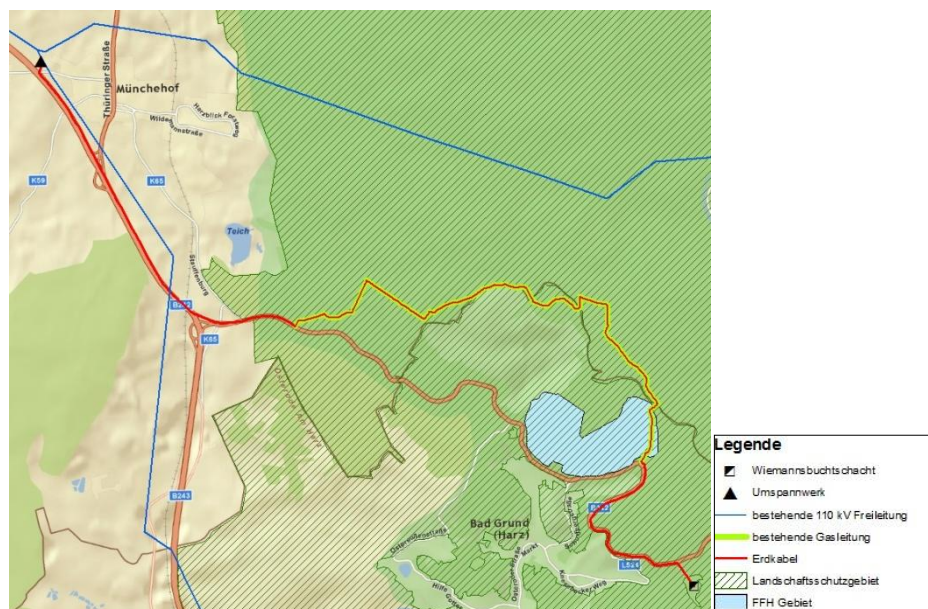


Abbildung 13-3: Trassenverlauf der Variante 2

	Länge[km]	Technische Ausführung
<b>Neutrassierung</b>		
WBS – B242	0,5	Kabel
<b>Bündelung</b>		
B242	2,3	Kabel
Gasleitung	5,5	Kabel

B242-K64	3,5	Kabel
----------	-----	-------

Tabelle 13-2: Abschnittslängen und ihre technische Ausführung

Die Gesamtlänge dieser Variante beträgt 11,8 km.

#### **13.2.4 Vergleich der Varianten**

Für den Standort Bad Grund wurden zwei Trassenvarianten entwickelt. Da der erste Abschnitt beider Varianten identisch ist, beschränkt sich der Variantenvergleich auf die Bereiche mit unterschiedlichen Trassenverläufen.

Generell sind bei den beiden Varianten keine erheblichen Konflikte mit Natur und Landschaft zu erwarten.

Bei der Trassenvariante 1 werden die Eingriffe in Waldbestände durch die Nutzung der vorhandenen Waldwege und die Zerstörung des Landschaftsbildes durch den Freileitungsabschnitt mit dem parallelen Verlauf der Trasse zu der bestehenden Freileitung bis auf ein Minimum reduziert.

Bei der Variante 2 wird dagegen die vorhandene linienhafte Infrastruktur (Bundes- und Kreisstraßen, Gasleitung) weitestgehend genutzt.

Weiterhin weisen die beiden Trassenvarianten fast die gleiche Gesamtlänge auf.

Anhand der obengenannten Kriterien kann keine Trasse als Vorzugstrasse empfohlen werden. Dies würde eine detaillierte technische Planung sowie weitere Untersuchungen (wie z.B. Prüfung der planerischen Vorhaben der durch den Leitungsausbau betroffenen Gemeinden) erfordern.

### **13.3 Modellbergwerk Pöhla**

#### **13.3.1 Randbedingungen für die Planung**

Für den Standort Pöhla gibt es drei Anschlussmöglichkeiten an das bestehende Versorgungsnetz:

- 110kV Umspannwerk in Rittersgrün
- 110kV Umspannwerk Crottendorf

- 110kV Umspannwerk Zwönitz.

Die Umspannwerke Rittersgrün und Crottendorf sind etwa 6km (Luftlinie), und das Umspannwerk in Zwönitz etwa 20km (Luftlinie) von Zweibach gelegen.

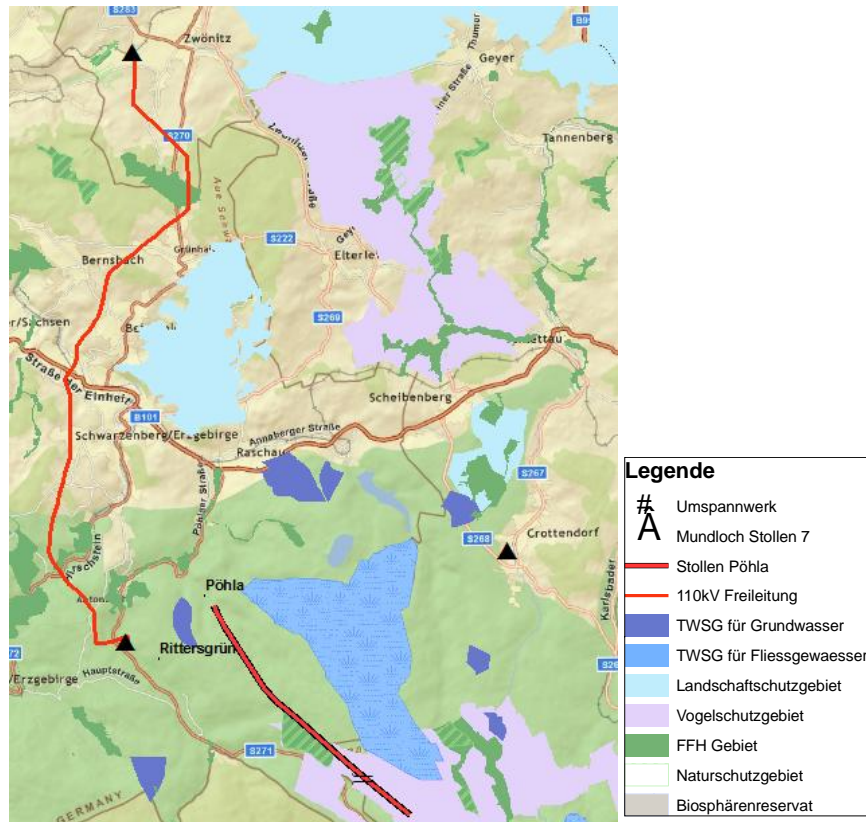


Abbildung 13-4: Planungskorridor Zweibach-Crottendorf, Zweibach-Rittersgrün und Zweibach- Zwönitz

Unter Berücksichtigung der umweltschutzrechtlichen (die meisten Natur- und Wasserschutzgebiete befinden sich im Raum Zweibach-Crottendorf und Zweibach-Zwönitz) und wirtschaftlichen Belange (der kürzeste Trassenverlauf) wird nur der Planungskorridor Zweibach-Rittersgrün genauer betrachtet.

Weiterhin sollte hier wegen des Vogelschutzgebietes in der Nähe des Stollens 7 eine durchgehende Freileitungsvariante ausgeschlossen werden.

Somit ergibt sich für den Standort Pöhla nur eine Trassenvariante.



### 13.3.2 Variante 1- eine kombinierte Kabel-/Freileitungstrasse

Analog zu dem Standort Bad Grund wurde auch hier die bestehende liniengebundene Infrastruktur weitestgehend genutzt.

Der 0,3km lange Abschnitt vom Stollen 7 bis zur Straße S271 muss neu trassiert werden. Weiter verlaufen 4,7km der Trasse entlang der Straße S271. Ein weiterer Abschnitt mit der Länge von 2,5km führt durch einen landwirtschaftlich genutzten Bereich und dann etwa 1,5km entlang der Straße S273. 1,5km führen zu dem Umspannwerk in Rittersgrün. Wegen der am Standort Rittersgrün fehlenden Kapazität muss die Energie mit Hilfe der vorhandenen 110kV Freileitung von Enviam an das Umspannwerk in Zwönitz abgeleitet werden.

Der Trassenverlauf ist in der Abbildung 1-5 dargestellt. Wesentliche Angaben dieser Trassenvariante sind der Tabelle 1-3 zu entnehmen.

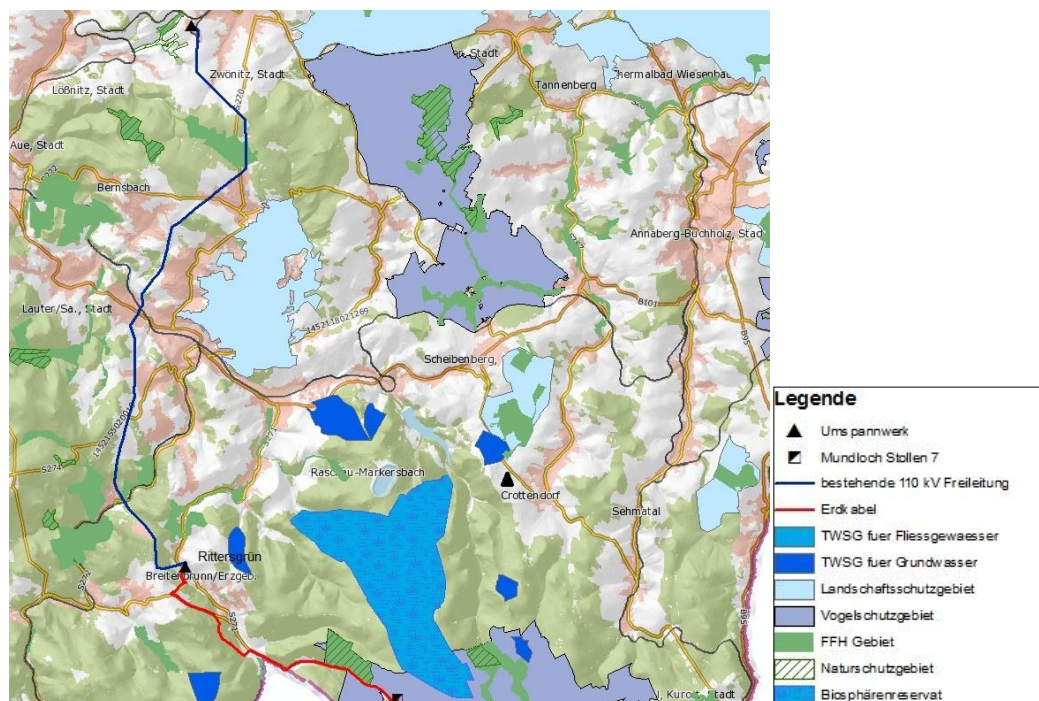


Abbildung 13-5: Trassenverlauf der Teilverkabelungsvariante

	<b>Länge[km]</b>	<b>Technische Ausführung</b>
<b>Neutrassierung</b>		
Stollen 7 – S271	0,3	Kabel
S271-S273	2,5	Kabel
S273-Umspannwerk Rittersgrün	1,5	Kabel
<b>Bündelung</b>		
S271	4,7	Kabel
S273	1,5	Kabel
EnviaM-Freileitung	19,5	Freileitung

Tabelle 13-3: Abschnittslängen und ihre technische Ausführung

Die Gesamtlänge dieser Trasse beträgt 30 km.

### 13.4 Fazit

Im Vordergrund dieser Teilstudie stand die Untersuchung der Anschlussmöglichkeiten der Pumpspeicherwerke an das bestehende Übertragungs- bzw. Versorgungsnetz. Ziel war es, die verschiedenen Alternativen der Netzanbindung unter Berücksichtigung der planungstechnischen Vorgaben und umweltrechtlichen Grenzen aufzuzeigen. Eine genaue Festlegung der Trasse erfordert weitere Untersuchungen (u.a. Prüfung der planerischen Vorhaben von betroffenen Gemeinden, vor Ort Begehungen, Anrainerbefragungen) und war nicht Gegenstand dieser Teilstudie.

### 13.5 Literaturangaben zu Netzanbindung:

/1/ Landes – Raumordnungsprogramm Niedersachsen (2008):

[http://www.ml.niedersachsen.de/live/live.php?navigation\\_id=1378&article\\_id=5062&psmand=7](http://www.ml.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=1378&article_id=5062&psmand=7)

/2/ Albrecht, I.; Blanke, B.; König, P.; Wesemann, C.: Konzept für eine kombinierte Kabel-/Freileitungstrasse und Vergleich von Varianten im Raum Barnsdorf;  
<http://www.netzausbau-niedersachsen.de/downloads/eonkonzeptteilverkabelungganderkesee.pdf>

/3/ Könnig, S.; Sanzenbacher, K. (2007): Trassenplanung unter Umweltgesichtspunkten - am Beispiel einer Erdgasleitung. In: Thomas Wegener (Hg.): Rohrleitungen - erfordern Ingenieurkompetenz. 21. Oldenburger Rohrleitungsforum ; Vorträge und Ausstellerinformationen ; inklusive Ausstellungsführer. Essen: Vulkan-Verl. (Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau Oldenburg, 31, CD-ROM).



*A. Lohrengel, G. Schäfer, N. Nagler, L. Meier*

## ***Maschinentechnische Aspekte***



*Foto: EFZN /M. Schmidt*

# **Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke**

**Berichtsteil: Voith AG & Institut für Maschinenwesen (IMW)**

**Version 1**

**Goslar, 31. März 2011**

Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen  
Robert-Koch-Str. 32  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon: +49 5323 72 2270  
Telefax: +49 5323 72 3501  
<http://www.imw.tu-clausthal.de>

### **Wissenschaftliche Leitung des Berichtsteils**

Prof. Dr-Ing. Armin Lohrengel

Dr.-Ing. Günter Schäfer

Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal

### **Bearbeiter**

Dipl.-Ing. Nadine Nagler

Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal

### **Ansprechpartner bei Rückfragen**

Dipl.-Ing. Nadine Nagler

Institut für Maschinenwesen

Telefon: +49 5323 72 3504

Telefax: +49 5323 72 3501

nagler@imw.tu-clausthal.de

## Kurzfassung

Ziel des Teilprojekts war die Entwicklung eines maschinentechnischen Konzepts für ein untertägiges Pumpspeicherwerk (PSW) durch das Institut für Maschinenwesen (IMW) in Zusammenarbeit mit der Voith AG. Zu den zu bearbeitenden Aufgaben gehörten dabei die Maschinenauslegung, die Simulation der Gesamtanlage aus maschinentechnischer Sicht sowie die Berücksichtigung besonderer Erfordernisse, wie z. B. die Instandhaltung der Maschinensätze.

Hierbei sollte der Arbeitspunkt Maschinenauslegung die konstruktive Auslegung der Gesamtanlage sowie die Erarbeitung des Stands der Technik und den Vergleich mit diesem umfassen. Der Stand der Technik zu bereits realisierten PSW in Deutschland stellte dabei die wissenschaftlich-technische Basis für das weitere Vorgehen bei der Erstellung des maschinentechnischen Konzepts dar. Es zeigte sich wie erwartet, dass es bislang keine gänzlich untertägigen PSW in Deutschland gibt und somit lediglich auf die Maschinenkaverne und die dort integrierte Maschinentechnik betreffende Informationen für das hiesige maschinentechnische Konzept zurückgegriffen werden konnte. Die letztendliche Auslegung der maschinentechnischen Komponenten erfolgte durch die Voith AG.

Die Arbeiten im Bereich Betriebssimulation fußen auf den durch die Voith AG zur Verfügung gestellten Maschinenkennlinien. Darauf aufbauend sollten die Einzelkomponenten reguliert und abschließend, in Abstimmung mit der Energiesystemtechnik, die Gesamtanlage simulativ in einem Modell abgebildet werden. Im dritten Bereich, den besonderen Erfordernissen an die Konstruktion, sollten beispielsweise Fragen der Instandhaltung (Life-Cycle Maschinentechnik) behandelt und Erfordernisse erwogen werden, welche sich im Zusammenhang mit der Installation und Inbetriebnahme eines untertägigen PSW ergeben.

Im Fokus der Arbeiten der Projektaufstockung sollte die Anwendung der Erkenntnisse aus dem ersten Projektteil auf zwei potentielle Standorte für untertägige PSW stehen. Hier war eine enge Zusammenarbeit mit den anderen Teildisziplinen unabdingbar. Unter aus dem Bereich Bergbau vorgegebenen Randbedingungen war eine Adaptierung des maschinentechnischen Konzepts auf diese Standorte vorzunehmen. Dabei sollten auch die beiden Optionen einer größtmöglichen Nennleistung versus einer größtmöglichen Entladedauer u. a. aus maschinentechnischer sowie

elektrotechnischer Sicht verglichen werden. Aus den Erkenntnissen aus der Maschinentechnik ergaben sich wiederum Anforderungen an die Elektrotechnik sowie den Bergbau. Des Weiteren bildeten die für die Maschinentechnik zu erwartenden Kosten einen wichtigen, für den Bereich der Wirtschaftswissenschaften zur berücksichtigenden Faktor bei der Abschätzung der Gesamtkosten des untertägigen PSW.

Von Seiten des Teilprojekts Maschinentechnik kann zusammenfassend festgestellt werden, dass alle oben aufgeführten Aufgaben bearbeitet und erfolgreich abgeschlossen worden sind. Die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse in den Bereichen Erstellung eines maschinentechnischen Konzepts, Simulation der Gesamtanlage sowie der besonderen Erfordernisse an die Konstruktion werden in den Kapiteln 2 bis 6 vorgestellt.

Mit Hinblick auf den Bau einer möglichen Pilotanlage an einem der hier näher untersuchten Standorte ist für eine Realisierung nicht nur, wie hier im Rahmen der Projektaufstockung geschehen, eine Adaptierung des allgemeinen maschinentechnischen Konzepts auf den Standort erforderlich, sondern eine „maßgeschneiderte“ Neuauslegung der Maschinentechnik unter detaillierterer Berücksichtigung örtlicher Randbedingungen als dies während der Projektlaufzeit möglich war.

## **Abstract**

The aim of the subproject was to develop a technical concept for a subsurface pumped-storage plant by the Institute of Mechanical Engineering in close collaboration with the Voith AG. The task to be worked on at this subproject included machine design layout, simulation of the plant as well as the consideration of special requirements as for instance the machine's life-cycle management.

The work package machine design comprised the machine's constructive design layout as well as carrying out a review of literature concerning plant's state of the art in Germany. This review's results were the basis for the further proceeding in developing a technical concept. As expected there don't exist any entirely subsurface pumped-storage plants in Germany, merely plants with subsurface power houses. Thus, for developing a technical concept it could just be reverted on information about the power houses and the therein integrated machine technology. The machine design layout was carried out by the Voith AG. Building on that, the plant's single components had to be regulated initially. In accordance with the electrical power engineering the whole plant's function is modeled by using simulation tools afterwards. In the frame of the 3<sup>rd</sup> work package the consideration of requirements concerning machine maintenance was treated. Furthermore questions had to be regarded that arise due to installation and commissioning of the subsurface pumped-storage plant.

The project's extension should be focused on applying the knowledge from the initial project to two potential plants in Germany. Especially in this field a close contact and exchange of information between the members of the different subprojects was indispensable. Regarding the boundary conditions of the subproject the technical concept had to be adapted to these potential locations. In this context the two likely scenarios, maximized nominal power versus maximized discharge time should be compared from technical as well as electrotechnical point of view. The outcome of the technical research influenced in turn the electrotechnical and minim subprojects. In addition, the expected machine technology costs are important for the subproject economics as they have to be taken into account when it comes to estimate the plant's total costs.

For the technical subproject it can be summarized that all above specified tasks were successfully treated. The scientific and technical results concerning the development of a technical concept, the simulation of the plant as well as the consideration of special requirements are presented in chapter 2 to 6.

With regard to the installation of a pilot plant at one of the here contemplated locations it has proven insufficiently to merely adapt the developed technical concept to this location. Instead a customized technical concept will have to be worked out, paying particular consideration to the local boundary conditions, even more than it was feasible during the project duration.



## **Über die Autoren**

*Prof. Dr.-Ing Armin Lohrengel; Institut für Maschinenwesen; TU Clausthal:*

Jahrgang 1966, studierte Maschinenbau/Konstruktionstechnik an der TU Clausthal und RWTH Aachen, bis 09/1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maschinenelemente und -gestaltung, Promotionsthema Lebensdauerorientierte Dimensionierung von Freiläufen, bis 01/2007 Leiter Maschinenentwicklung Paul Hartmann AG Heidenheim, seit 1.2.2007 Universitätsprofessor und Institutsdirektor des IMW.

*Dr.-Ing. Günter Schäfer; Institut für Maschinenwesen; TU Clausthal:*

Jahrgang 1963, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 1.11.1989 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IMW, seit 1991 akademischer Rat, Promotion im November 1995 über Verschleiß und Berechnung von Zahnwellen-Verbindungen, seit 2002 akademischer Oberrat.

*Dipl.-Ing. Nadine Nagler; Institut für Maschinenwesen; TU Clausthal:*

Jahrgang 1984, studierte allgemeinen Maschinenbau an der TU Clausthal, seit 6.4.2009 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMW. Arbeitsbereiche: Freiläufe, Simulation, Erneuerbare Energien.

*Dipl.-Ing. Lars Meier; Voith Hydro Inc.*

Jahrgang 1970, studierte Maschinenbau an der Universität Karlsruhe, seit 1997 Mitarbeiter der Firma Voith Hydro zunächst in der Abteilung Hydraulische Auslegung, von 2007 bis 2010 Leiter der Auslegungsabteilung, seit 2010 Leiter Engineering der Voith Hydro Inc. in York, Pennsylvania, USA.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Kurzfassung</b>	<b>281</b>
<b>Abstract</b>	<b>283</b>
<b>Über die Autoren</b>	<b>285</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>286</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>287</b>
<b>Formelverzeichnis</b>	<b>288</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>289</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>291</b>
<b>1. Einführung in die maschinentechnischen Aspekte</b>	<b>292</b>
<b>2. Maschinenauslegung - Vorgehen und Ergebnisse</b>	<b>293</b>
<b>3. Betriebssimulation</b>	<b>307</b>
<b>4. Besondere Erfordernisse an die Konstruktion</b>	<b>311</b>
<b>5. Modellbergwerke</b>	<b>314</b>
5.1 Vorgehensweise bei der Betrachtung der Standorte	314
5.2 Modellbergwerk Grund	317
5.3 Modellbergwerk Pöhla	322
<b>6. Hybridkraftwerk-Einfluss der Beckenanordnung</b>	<b>326</b>
<b>7. Fazit</b>	<b>331</b>
<b>8. Ausblick</b>	<b>333</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>334</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

PSW      Pumpspeicherkraftwerk

## Formelverzeichnis

$A$	Fläche	$[m]$
$d$	Durchmesser	$[m]$
$d_{\text{Druckrohrleitung}}$	Durchmesser Druckrohrleitung	$[m]$
$d_{\text{Stichleitung}}$	Durchmesser Stichleitung	$[m]$
$g$	Erdbeschleunigung	$[m/s^2]$
$h_F$	Mittlere Fallhöhe	$[m]$
$P$	Leistung	$[MW]$
$P_{\text{Gesamt,PSW}}$	Gesamtleistung des PSW	$[MW]$
$P_{\text{Nenn}}$	Nennleistung des PSW	$[MW]$
$P_{T,\text{max}}$	Maximale Leistung im Turbinenbetrie	$[MW]$
$t_{\text{Betrieb}}$	Betriebszeit	$[h]$
$t_{\text{Betrieb,max}}$	Maximale Betriebszeit des PSW	$[h]$
$\dot{V}$	Volumenstrom	$[m^3/s]$
$v_{\text{Druckrohrleitung}}$	Strömungsgeschwindigkeit in der Druckrohrleitung	$[m/s]$
$V_{\text{erf}}$	Erforderliches Speichervolumen	$[\text{Mio. } m^3]$
$V_{\text{erf,min}}$	Minimal erforderliches Speichervolumen	$[\text{Mio. } m^3]$
$\Delta h_F$	Differenz der mittleren Fallhöhe	$[m]$
$\rho_W$	Dichte Wasser	$[kg/m^3]$
$\eta$	Gesamtwirkungsgrad des PSW	$[-]$
$\eta_{\text{Turbine}}$	Wirkungsgrad der Turbine	$[-]$
$\eta_{\text{Pumpe}}$	Wirkungsgrad der Pumpe	$[-]$

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1.1:</b>	Maschinentechnische Ziele und Herangehensweise	293
<b>Abbildung 2.1:</b>	Auszug aus erster Auslegungsmatrix (Quelle: Voith AG)	294
<b>Abbildung 2.2:</b>	Vergleich der Daten aus der Literaturrecherche mit denen der Auslegungsmatrix (Quelle unten: Voith AG)	296
<b>Abbildung 2.3:</b>	Schematische Darstellung des Pumpspeicherwerkes Säckingen [GIE05]	297
<b>Abbildung 2.4:</b>	Horizontalachsiger Maschinensatz (Säckingen) mit getrennter Anordnung von Turbine und Pumpe nach [GIE05]	298
<b>Abbildung 2.5:</b>	Kriterien für die Maschinenauslegung	298
<b>Abbildung 2.6:</b>	Schnitt durch die Krafthäuser des PSW Säckingen (links) und des PSW Venda Nova (rechts) (Quelle: Voith AG)	300
<b>Abbildung 2.7:</b>	Ausgelegter Maschinensatz (Quelle: Voith AG)	301
<b>Abbildung 2.8:</b>	Erforderliches Speichervolumen als Funktion der mittleren Fallhöhe sowie der Gesamtleistung im Turbinenbetrieb	304
<b>Abbildung 3.1:</b>	Oberfläche des Simulink Modells	308
<b>Abbildung 3.2:</b>	Simulation des Kavernenbereichs im Turbinenbetrieb (oben) sowie im Pumpenbetrieb (unten)	309
<b>Abbildung 3.3:</b>	Ergebnisse für den Turbinenbetrieb	310
<b>Abbildung 3.4:</b>	Ergebnisse für den Pumpenbetrieb	311
<b>Abbildung 4.1:</b>	Korrosionsschutzmethoden (nach [SAT00])	313
<b>Abbildung 4.2:</b>	Auszug aus Pumpenwerkstofftabelle	314
<b>Abbildung 5.1:</b>	Vorgehensweise bei der Standortbetrachtung	315
<b>Abbildung 5.2:</b>	Randbedingungen und daraus resultierende Größen	319
<b>Abbildung 5.3:</b>	Änderung der Geometriegrößen der Francis-Turbine in Abhängigkeit der Fallhöhe (Quelle: Voith AG)	319
<b>Abbildung 5.4:</b>	Änderung der Geometriegrößen der Pumpe in Abhängigkeit der Fallhöhe (Quelle: Voith AG)	320
<b>Abbildung 5.5:</b>	Vorgehen beim Transport des Generators unter Tage (Quelle: Voith AG)	321
<b>Abbildung 5.6:</b>	Randbedingungen und daraus resultierende Größen	324

<b>Abbildung 5.7:</b>	Änderung der Geometrie Größen der Francis-Turbine in Abhängigkeit der Fallhöhe (Quelle: Voith AG)	324
<b>Abbildung 5.8:</b>	Änderung der Geometrie Größen der Pumpe in Abhängigkeit der Fallhöhe (Quelle: Voith AG)	325
<b>Abbildung 6.1:</b>	Prinzipskizze zu Unterschieden zwischen einem gänzlich untertägigen PSW sowie einem Hybridkraftwerk	326
<b>Abbildung 6.2:</b>	Erzielbare Nennleistungsvergrößerung $\Delta P_{\text{nenn}}$ des PSW bei konstanter Betriebszeit $t_{\text{Betrieb}}$ sowie verfügbarem bzw. erforderlichem Speichervolumen der Becken Verf durch die Steigerung der mittleren Fallhöhe um $\Delta h_F$	327
<b>Abbildung 6.3:</b>	Erzielbare Reduktion des erforderlichen Beckenspeichervolumens $\Delta V_{\text{Verf}}$ bei konstanter Betriebszeit $t_{\text{Betrieb}}$ sowie Nennleistung des PSW durch die Steigerung der mittleren Fallhöhe um $\Delta h_F$	328
<b>Abbildung 6.4:</b>	Erzielbare Betriebszeitsteigerung $\Delta t_{\text{Betrieb}}$ bei gleich bleibendem vorhandenem bzw. erforderlichem Speichervolumen Verf sowie jeweils konstant gehaltener Nennleistung $P_{\text{nenn}}$ des PSW durch Steigerung der mittleren Fallhöhe um $\Delta h_F$	329
<b>Abbildung 6.5:</b>	Erzielbare Reduzierung des erforderlichen Druckrohrleitungsdurchmessers um $\Delta d_{\text{Druckrohrleitung}}$ bei konstanter Nennleistung $P_{\text{nenn}}$ des PSW durch Steigerung der mittleren Fallhöhe um $\Delta h_F$	330

## **Tabellenverzeichnis**

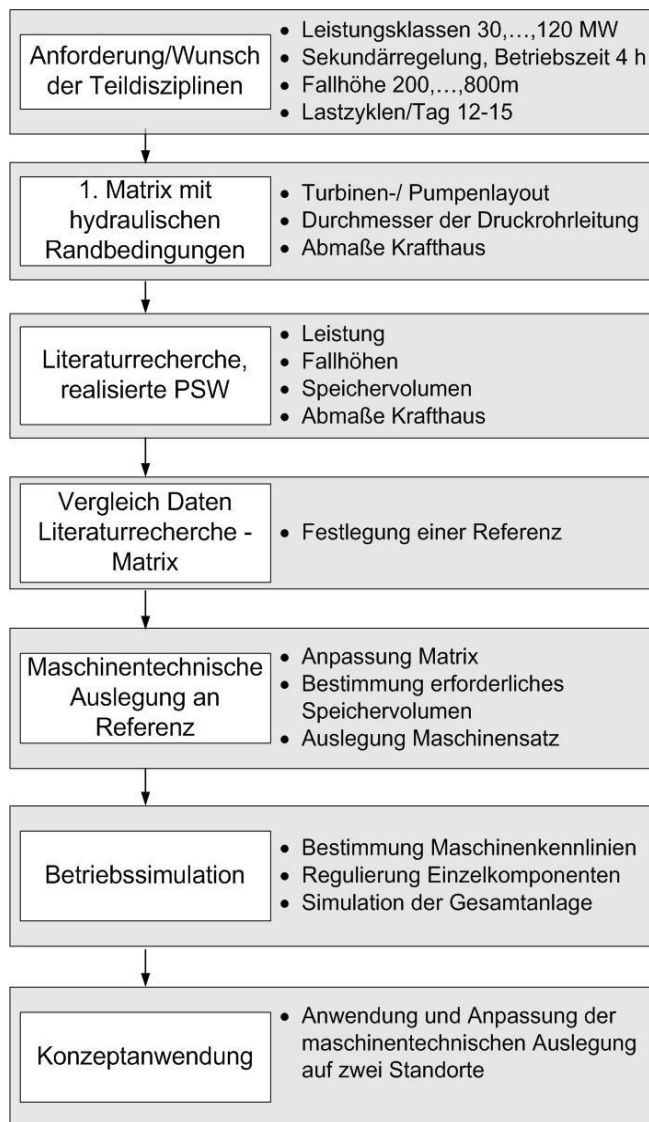
<b>Tabelle 2.1:</b>	Auszug aus der Literaturrecherche	295
<b>Tabelle 2.2:</b>	Vergleich der Randbedingungen des PSW Säckingen und des PSW Venda Nova	299
<b>Tabelle 2.3:</b>	Angenommene Parameter	302
<b>Tabelle 2.4:</b>	Berechnungsergebnisse aus den Gleichungen (2.1) bis (2.4)	303
<b>Tabelle 2.5:</b>	Krafthausdimensionen und Turbinenlayout für einen Maschinensatz (Quelle: Voith AG)	305
<b>Tabelle 2.6:</b>	Krafthausdimensionen und Turbinenlayout für einen Maschinensatz 2 (Quelle: Voith AG)	306
<b>Tabelle 2.7:</b>	Krafthausdimensionen und Turbinenlayout für einen Maschinensatz 3 (Quelle: Voith AG)	307
<b>Tabelle 4.1:</b>	Auszug aus dem Instandhaltungsplan der Francis-Turbine (Quelle: Voith AG)	312
<b>Tabelle 5.1:</b>	Randbedingungen und daraus resultierende Szenarien	318
<b>Tabelle 5.2:</b>	Randbedingungen und daraus resultierende Szenarien	323



## **1. Einführung in die maschinentechnischen Aspekte**

Bei der Zwischenspeicherung von Windenergie ergibt sich durch deren dynamische Änderung der Windgeschwindigkeiten ein hoher Anspruch an das Maschinenverhalten bei Lastwechseln zwischen den Betriebszuständen Pumpen und Turbinieren. Der Maschinensatz muss daher so ausgelegt werden, dass eine möglichst effiziente Reaktion auf Lastwechsel gewährleistet ist.

Die Ziele des Teilbereichs Maschinentechnik leiteten sich direkt aus diesen Ansprüchen ab (s. Abbildung 1.1). Entsprechend Abbildung 1.1 werden in den folgenden Kapiteln neben der Herangehensweise auch die daraus erzielten Ergebnisse vorgestellt.



**Abbildung 1.1:** Maschinentechnische Ziele und Herangehensweise

## 2. Maschinenauslegung - Vorgehen und Ergebnisse

Das Vorgehen bei der Maschinenauslegung entspricht den ersten fünf Schritten aus Abbildung 1.1. Um eine Maschinenauslegung vornehmen zu können, wurden zunächst in Absprache mit den anderen Teildisziplinen die Anforderungen bzw. Wünsche an ein maschinentechnisches Konzept wie folgt erfasst:

- Turbinenklasse: 30, 60, 90 und 120 MW pro Einheit
- Fallhöhe: 200, ... , 600 m (reversibler Maschinensatz; Pumpe und Turbine sind als eine Einheit ausgeführt) und 700, ... , 800 m (ternärer Maschinensatz; Pumpe und Turbine sind räumlich voneinander getrennt)

- Sekundärregelung mit einer Betriebszeit von vier Stunden und
- 12 – 15 Lastzyklen pro Tag.

Auf Basis dieser hydraulischen Randbedingungen wurde vom Industriepartner Voith AG eine erste Auslegungsmatrix erstellt, die Daten des Pumpen- und Turbinenlayouts sowie der Krafthausdimensionierung enthält (s. Abbildung 2.1).

Hydraulic Boundary conditions				Turbine layout (acc. to Quicksizing)				House planning (acc. to HRW article Se			
Project Name	Turbine Type	Turbine Output (MW)	Head H (m)	turbine diameter	diameter Main Inlet Valve (MIV)	turbine flow	diameter penstock / turbine	unit spacing	PH length (w service bay)	PH width	PH height
		...	...								
9	reversible	30	400	1,68	0,76	8,43	1,20	4,50	18,00	9,00	26,00
10	reversible	60	400	2,25	1,06	16,85	1,69	5,00	20,00	10,00	31,00
11	reversible	90	400	2,81	1,30	25,28	2,07	5,80	23,20	11,60	36,00
12	reversible	120	400	2,85	1,48	33,71	2,39	5,90	23,60	11,80	41,00
		...	...								

**Abbildung 2.1:** Auszug aus erster Auslegungsmatrix (Quelle: Voith AG)

Die Art der Maschinensätze (ternär oder reversibel) in Abhängigkeit von der vorliegenden Fallhöhe kann bei Kenntnis konkreter Randbedingungen (wie z. B. der avisierten Fahrweise des PSW) auch anders als oben dargestellt eingeteilt werden. So ist beispielsweise die Nutzung ternärer Maschinensätze auch bei geringeren Fallhöhen möglich.

Um den Stand der Technik von bereits realisierten PSW in Deutschland zu erfassen, wurde diesbezüglich eine Literaturrecherche durchgeführt. Bei dieser wurden Parameter wie z. B.

- die mittlere Fallhöhe
- die Gesamtleistung der Maschinensätze und deren Zusammensetzung (abhängig von der Anzahl der Maschinensätze)
- die Dimensionen der Krafthaus- und Transformatorkaverne
- das Volumen der Speicherbecken und
- Daten zur Geometrie des Ober- und Unterwassersystems

von PSW in Deutschland berücksichtigt (s. a. Tabelle 2.1).

**Tabelle 2.1:** Auszug aus der Literaturrecherche

	Leistung Turbinenbetrieb [MW]	Mittl. Fallhöhe [m]	Speichervolumen [Mio. m <sup>3</sup> ]	Kaverne L x B x H [m]
Schluchseewerk Säckingen	360 (4 x 90)	400	2,1	161 x 23 x 34
Waldeck II	480 (2 x 240)	300	4,6	100 x 34 x 50
Goldisthal	1060 (4 x 265)	300	12	137 x 26 x 49

Im nächsten Schritt erfolgte ein Vergleich der hydraulischen Randbedingungen verschiedener PSW aus der Literaturrecherche mit denen der Auslegungsmatrix. Dazu wurden zunächst jeweils die minimalen und maximalen Randbedingungen von realisierten PSW herangezogen. Eine in erster Näherung gute Übereinstimmung der Eckdaten eines PSW mit denen der Matrix ergab sich jedoch im Bereich mittlerer Werte der hydraulischen Randbedingungen aus der Literaturrecherche (s. Abbildung 2.2). Bei diesem PSW handelte es sich um das PSW Säckingen der Schluchseewerk AG.

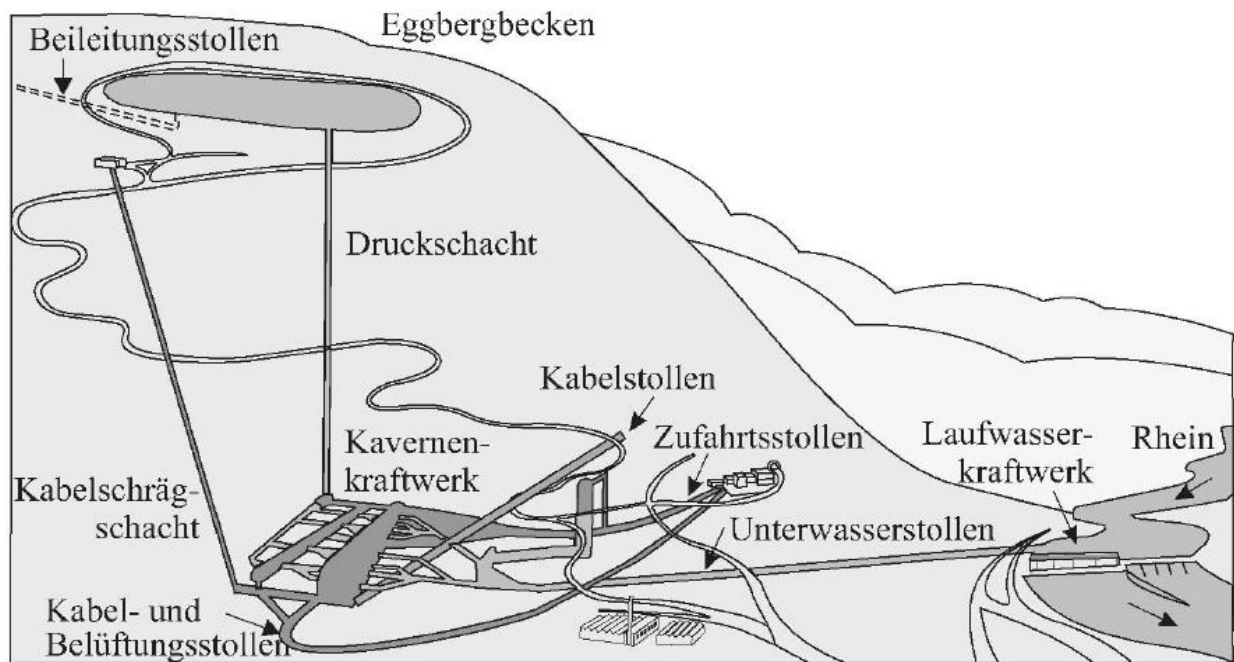
	<b>Leistung Turbinen- betrieb [MW]</b>	<b>Mittl. Fallhöhe [m]</b>	<b>Speicher- volumen [Mio. m³]</b>	<b>Kaverne L x B x H [m]</b>
Schluchseewerk Säckingen	360 (4 x 90)	400	2,1	161 x 23 x 34
Waldeck II	480 (2 x 240)	300	4,6	100 x 34 x 50
Goldisthal	1060 (4 x 265)	300	12	137 x 26 x 49

Hydraulic Boundary conditions				Turbine layout (acc. to Quicksizing)				House planning (acc. to HRW article Se			
Project Name	Turbine Type	Turbine Output (MW)	Head H (m)	turbine diameter	diameter Main Inlet Valve (MIV)	turbine flow	diameter penstock / turbine	unit spacing	PH length (w service bay)	PH width	PH height
9	reversible	30	400	1,68	0,76	8,43	1,20	4,50	18,00	9,00	26,00
10	reversible	60	400	2,25	1,05	16,86	1,60	6,00	20,00	10,00	31,00
11	reversible	90	400	2,81	1,30	25,28	2,07	5,80	23,20	11,60	36,00
12	reversible	120	400	2,85	1,40	33,71	2,39	5,30	23,60	11,60	41,00
		...	...								

**Abbildung 2.2:** Vergleich der Daten aus der Literaturrecherche mit denen der Auslegungsmatrix (Quelle unten: Voith AG)

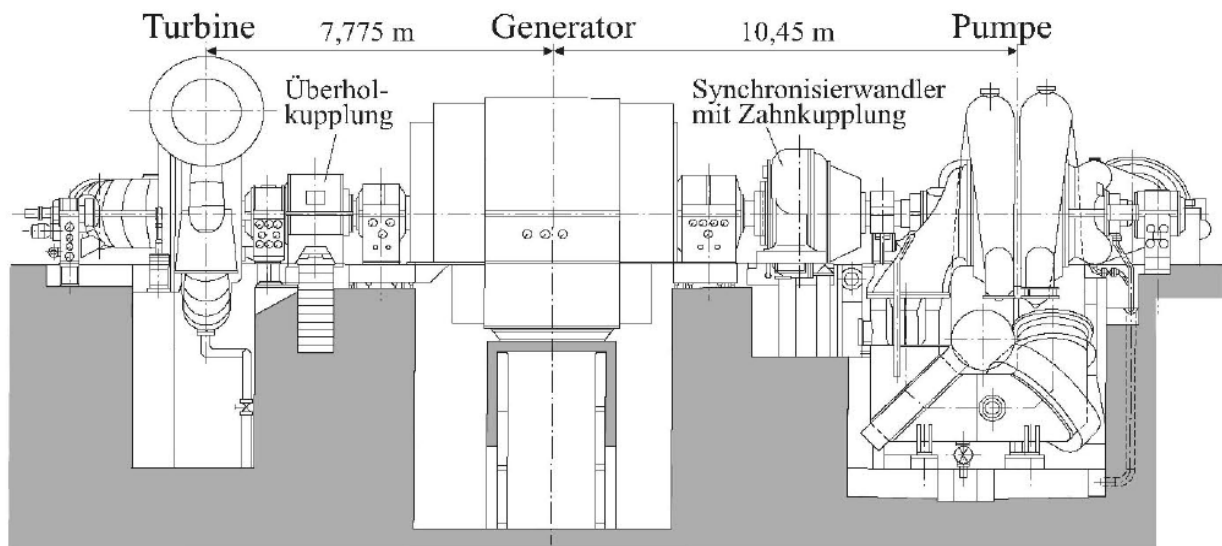
Daher wurde das PSW Säckingen zunächst als Referenz für die weitere Auslegung eines PSW aus maschinentechnischer Sicht bestimmt und soll deshalb hier kurz vorgestellt werden.

Das PSW Säckingen gehört zur Gruppe der Schluchseewerk AG und wurde nach 6 Jahren Bauzeit 1967 als erstes PSW in Kavernenbauweise in Betrieb genommen [SCH11]. Einen Schnitt durch das PSW Säckingen zeigt Abbildung 2.3.



**Abbildung 2.3:** Schematische Darstellung des Pumpspeicherwerkes Säckingen [GIE05]

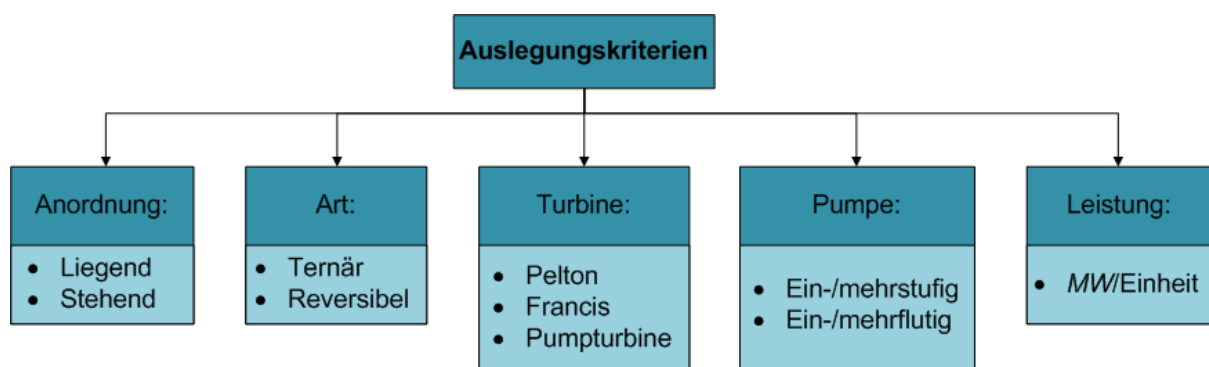
Zu den maßgeblichen Randbedingungen eines PSW gehören Parameter wie die Fallhöhe, die vorhandenen Speichervolumina des Ober- bzw. Unterbeckens und die sich daraus ableitende Leistung im Pumpen- und Turbinenbetrieb. Laut den Angaben der Schluchseewerk AG in [SCH11] beträgt die mittlere Fallhöhe beim PSW Säckingen  $400\text{ m}$ . Das Oberbecken (Eggbergbecken) hat ein Fassungsvermögen von  $2,1\text{ Mio. m}^3$ , als Unterbecken werden die Rheinstauräume der Rheinkraftwerke Säckingen und Ryburg-Schwörstadt genutzt. Die die Maschinensätze enthaltende Krafthauskaverne ist  $160\text{ m}$  lang,  $23\text{ m}$  breit und  $33\text{ m}$  hoch. Insgesamt verfügt das PSW Säckingen über vier Maschinensätze, die im Turbinenbetrieb eine Gesamtleistung von  $360\text{ MW}$  und  $296\text{ MW}$  im Pumpenbetrieb erbringen können [SCH11]. Da aus maschinentechnischer Sicht vor allem die Maschinensätze mit ihren Spezifizierungen von Interesse sind, ist in Abbildung 2.4 der Schnitt durch einen Maschinensatz des PSW Säckingen dargestellt.



**Abbildung 2.4:** Horizontalachsiger Maschinensatz (Säckingen) mit getrennter Anordnung von Turbine und Pumpe nach [GIE05]

Darin ist erkennbar, dass ein ternärer Maschinensatz, gekennzeichnet durch eine getrennte Anordnung von Pumpe und Turbine, in liegender Anordnung (horizontale Anordnung der Wellenachsen) verbaut ist. Bei der Turbine handelt es sich um eine Francis-Turbine, als Pumpen sind in drei Einheiten zweistufige, einflutige sowie in einer Einheit einstufige, einflutige Pumpen genutzt worden.

Die Auslegung eines Maschinensatzes erfolgt in Abhängigkeit der vorliegenden örtlichen Randbedingungen (wie z. B. der mittleren Fallhöhe) sowie der zukünftigen Betriebsweise (Ausgleich von Lastschwankungen, Bedarfsschwankungen oder Bereitstellung von Spitzenlastenergie). Die zur Verfügung stehenden Kriterien zur Auslegung sind in Abbildung 2.5 zusammengefasst.



**Abbildung 2.5:** Kriterien für die Maschinenauslegung



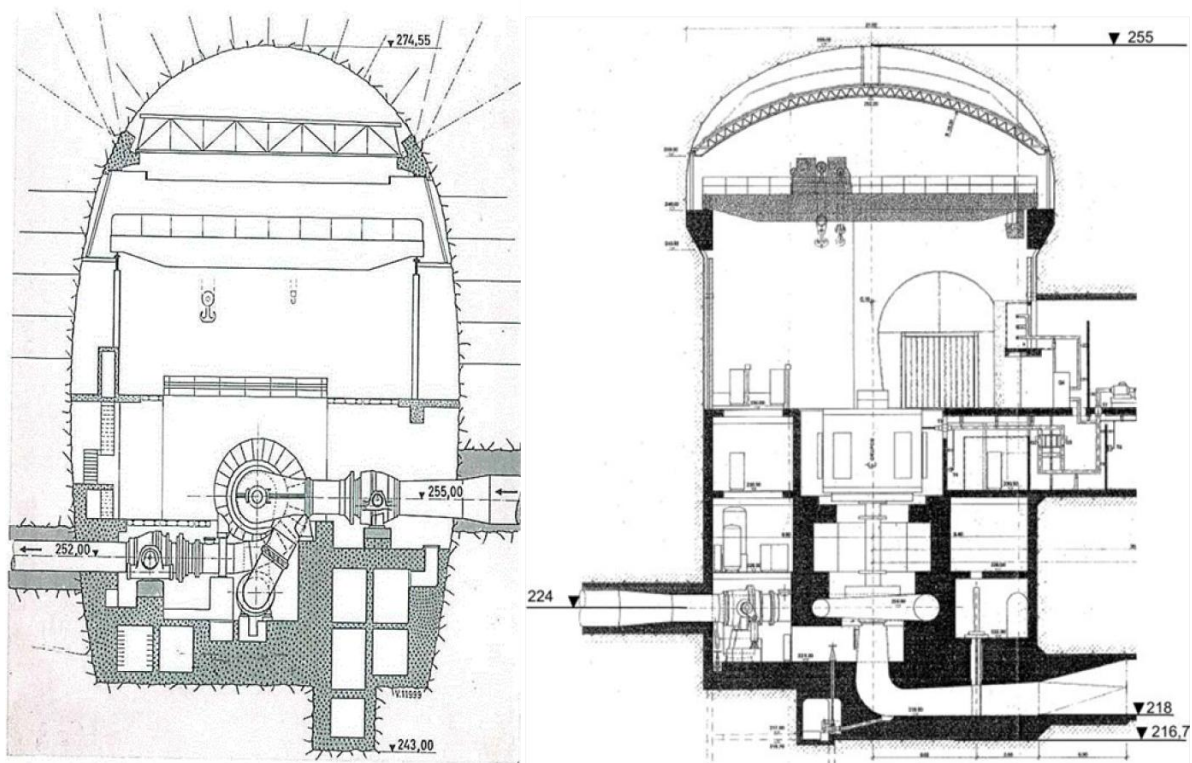
Da das Referenz-PSW Säckingen das älteste in Deutschland realisierte PSW in Kavernenbauweise ist, stellte sich die Frage, ob ein PSW mit gleicher Leistung des Maschinensatzes (jeweils 90 MW im Turbinenbetrieb) und sonst ähnlichen Randbedingungen hinsichtlich der Konfiguration der Auslegungskriterien heutzutage ähnlich ausgelegt würde. Um dies zu klären, erfolgte ein Vergleich der ausgelegten Maschinensätze des PSW Säckingen mit einem im Jahr 2004/2005 in Betrieb genommenen PSW mit ähnlichen Randbedingungen. Bei diesem PSW handelt es sich um das PSW Venda Nova in Portugal (s. a. Tabelle 2.2).

**Tabelle 2.2:** Vergleich der Randbedingungen des PSW Säckingen und des PSW Venda Nova

	Leistung Turbinen- betrieb [MW]	Mittl. Fall- höhe [m]	Speicher- volumen [Mio. m <sup>3</sup> ]	Druckrohr- durchmesser [m]	Kaverne L x B x H [m]
PSW Säckingen	360 (4 x 90)	400	2,1	2,0	161 x 23 x 34
PSW Venda Nova	190 (2 x 95)	410	-	1,6	73 x 17 x 11

Anhand der Gegenüberstellung von Schnitten durch die jeweiligen Krafthäuser (s. Abbildung 2.6) erfolgt ein Vergleich der verschiedenen Auslegungskonzepte der zwei PSW. Darin ist erkennbar, dass es deutliche Unterschiede zwischen den beiden PSW gibt, was die Anordnung und die Art des Maschinensatzes betrifft. Während in Säckingen eine liegende Anordnung vorliegt, ist der Maschinensatz in Venda Nova stehend ausgeführt, was zu einem größeren Raumbedarf bzgl. der Höhe der Kaverne führt. Weiterhin unterscheiden sich die beiden PSW durch die Art der Maschinensätze. In Säckingen werden ternäre Maschinensätze (Maschinensätze mit räumlicher Trennung der Pumpe und Turbine) mit jeweils einer Francis-Turbine genutzt, wohingegen in Venda Nova reversible Maschinensätze Verwendung finden (Pumpturbinen, bei denen die Pumpe und die Turbine eine Einheit bilden). Pumpturbinen können im Allgemeinen bis zu einer mittleren Fallhöhe von 600 m eingesetzt werden und bieten den Vorteil einer sehr kompakten Bauweise, woraus eine Kostenre-

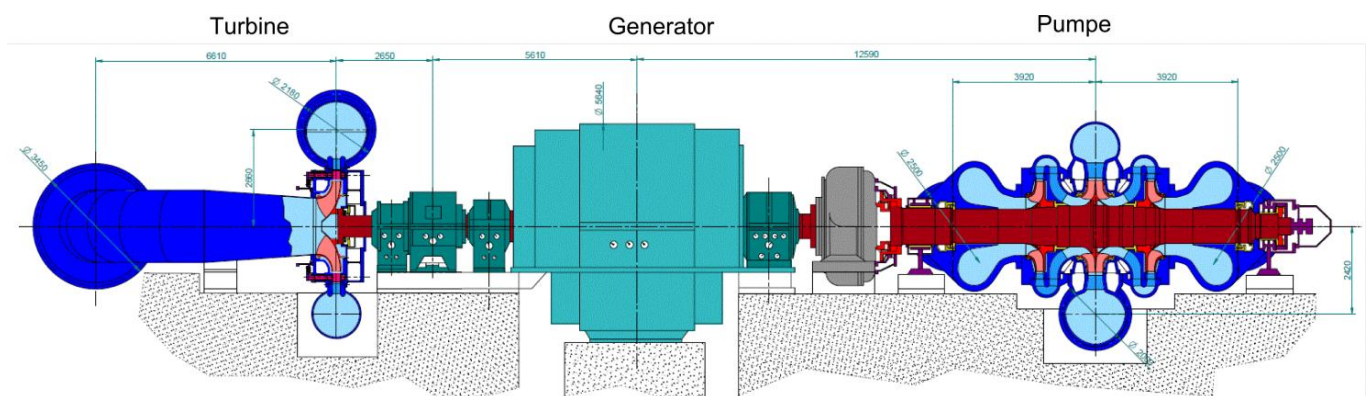
duktion im Vergleich zum ternären Maschinensatz erreicht wird. Ferner sind Pump-turbinen mit Hinblick auf die Betriebskosten günstiger und erfordern einen geringeren Wartungsaufwand als ternäre Maschinensätze. Ternäre Maschinensätze werden heute bei mittleren Fallhöhen ab 600 *m* genutzt und vor allem, wenn ein Kurzschlussbetrieb des PSW oder ein schnelles Umschalten zwischen den Betriebsarten Pumpen und Turbinieren vorausgesetzt wird. Der Kurzschlussbetrieb ist mit Pump-turbinen nicht realisierbar, da dafür die Pumpe und Turbine gleichzeitig betrieben werden müssten.



**Abbildung 2.6:** Schnitt durch die Krafthäuser des PSW Säckingen (links) und des PSW Venda Nova (rechts) (Quelle: Voith AG)

Basierend auf der Annahme von 12 bis 15 Lastzyklen pro Tag fiel die Entscheidung zu Gunsten eines ternären anstatt eines reversiblen Maschinensatzes, was unter Berücksichtigung einer angenommenen mittleren Fallhöhe von 400 *m*, analog zum Referenz-PSW Säckingen, als Konsequenz die Nutzung einer Francis-Turbine anstelle einer Pelton-Turbine sowie die Verwendung einer zweistufig zweiflutigen Kreiselpumpe nach sich zog. Die ternäre Anordnung ermöglicht in Kombination mit einem hydraulischen Wandler, wie oben dargelegt, eine schnelle Reaktion auf Last-

wechsel und ferner auch einen Kurzschlussbetrieb, der bei einem reversiblen Maschinensatz ausgeschlossen ist. Es wird aus Gründen des Raumbedarfs von einer liegenden Anordnung des Maschinensatzes ausgegangen. Im Hinblick auf die Auslegung des PSW im Rahmen der Potenzialstudie erfolgte in Abstimmung mit der Voith AG die Festlegung auf ca. 90 MW pro Einheit im Turbinen- und entsprechend ca. 100 MW im Pumpbetrieb in Analogie zum Referenz-PSW Säckingen. Für diese Leistung pro Einheit spricht aus maschinentechnischer Sicht auch, dass diese im mittleren Leistungsbereich liegt und somit noch Potenzial zur Vergrößerung bzw. zur Reduzierung der Leistungsklasse vorhanden ist. Den ausgelegten ternären, liegenden Maschinensatz mit der zweistufig zweiflutigen Kreiselpumpe sowie der Francis-Turbine zeigt in graphischer Form Abbildung 2.7.



**Abbildung 2.7:** Ausgelegter Maschinensatz (Quelle: Voith AG)

Im Zusammenhang mit der Auslegung des Maschinensatzes wurde die Auslegungsmatrix abschließend aktualisiert und mit der Berechnung der Anschlussgeometrien der Rohre und Becken begonnen. Hierfür wurde neben einer nutzbaren Fallhöhe von 400 m eine Strömungsgeschwindigkeit von 7,5 m/s in der Druckrohrleitung zugrunde gelegt. Mit Hilfe dieser Eckdaten konnte eine erste, überschlägige Auslegung der Rohrleitungen, der Krafthauskaverne und der erforderlichen Speicherbecken volumina erfolgen.

Die Turbinenauslegung in Abhängigkeit der Anzahl der Maschinensätze erfolgt überschlägig unter Nutzung der Gleichungen (2.1) bis (2.4) (s. a. [GIE05]).

$$P = \eta \cdot \rho_w \cdot g \cdot \dot{V} \cdot h_f \quad [MW] \quad (2.1)$$

$$\dot{V} = \frac{P \cdot 10^6}{\eta \cdot \rho_w \cdot g \cdot h_F} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (2.2)$$

$$\dot{V} = v \cdot A = v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (2.3)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{\dot{V} \cdot 4}{\pi \cdot v}} \quad [m] \quad (2.4)$$

**Tabelle 2.3:** Angenommene Parameter

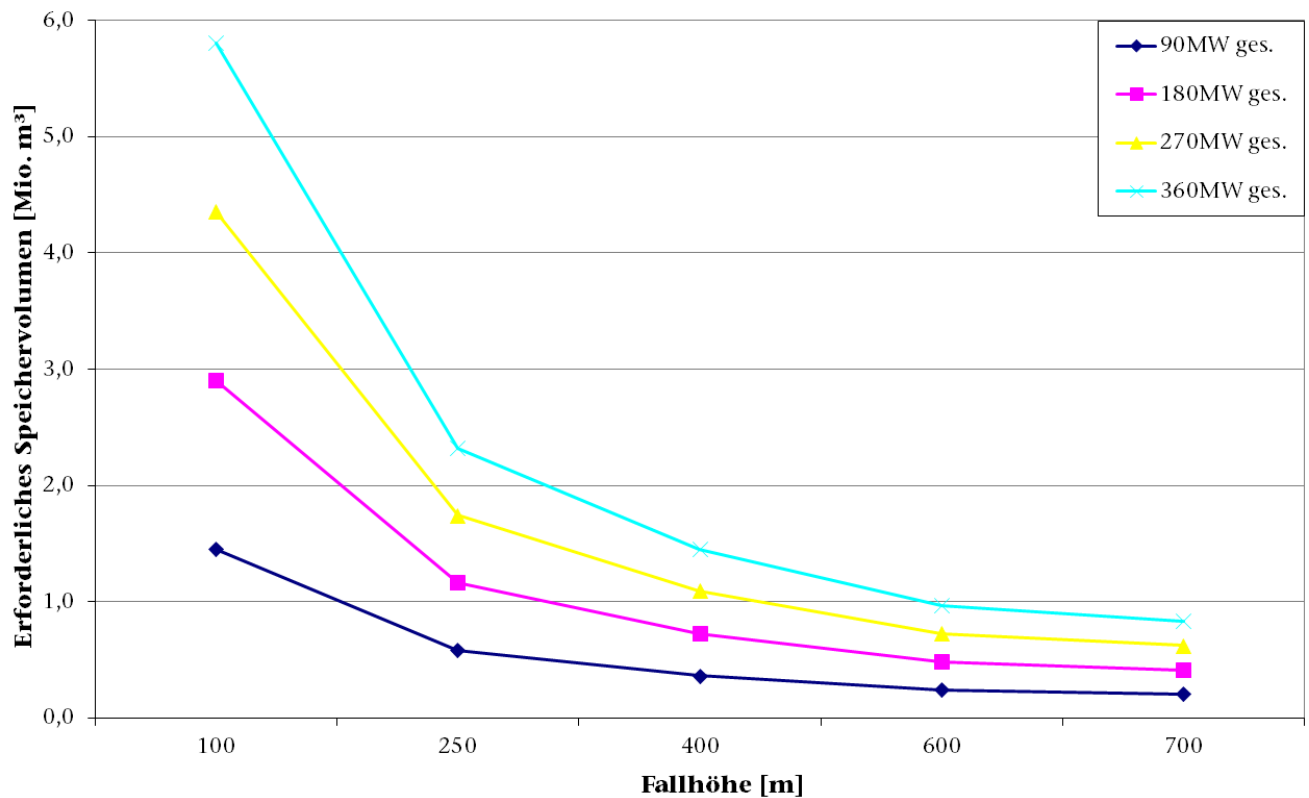
	Zahlenwert	Maßeinheit
g	9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
h <sub>F</sub>	400	[m]
P <sub>Unit</sub>	90	[MW]
t <sub>Betrieb</sub>	2/4	[h]
ρ <sub>w</sub>	1000	[kg/m <sup>3</sup> ]
V <sub>Druckrohrleitung</sub>	7,5	[m/s]
η <sub>Turbine</sub>	0,91	[/]
η <sub>Pumpe</sub>	0,90	[/]
η <sub>Gesamt,PSW</sub>	0,75	[/]

Unter der Annahme der Größen aus Tabelle 2.3 ergeben sich folgende Durchmesser der Druckrohrleitungen, sowie das minimal erforderliche Speichervolumen je Speicherbecken nach Tabelle 2.4. Es wird darauf hingewiesen, dass die in Tabelle 2.3 benannten Wirkungsgrade der Pumpe und Turbine Auslegungsannahmen darstellen. Der genaue Wirkungsgrad der Maschinen wird erst experimentell vor der Auslieferung bestimmt. Genauso kann der letztendlich vorliegende Gesamtwirkungsgrad des PSW erst bei gänzlich abgeschlossener Auslegung bzw. Fertigstellung des PSW bestimmt werden. Für theoretische Ausführungen zur Berechnung der benannten Wirkungsgrade wird auf [GIE05] verwiesen.

**Tabelle 2.4:** Berechnungsergebnisse aus den Gleichungen (2.1) bis (2.4)

$t_{\text{Betriebe}} [h]$	#Einheiten	$P_{\text{ges}}$ [MW]	$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /s]	$V_{\text{erf,min}}$ [Mio. m <sup>3</sup> ]	$d_{\text{Druckrohrleitung}}$ [m]
4	1	90	25,20	0,36	2,07
	2	180	50,41	0,73	2,93
	3	270	75,61	1,09	3,58
	4	360	100,82	1,45	4,14
2	1	90	25,20	0,18	2,07
	2	180	50,41	0,36	2,93
	3	270	75,61	0,54	3,58
	4	360	100,82	0,73	4,12

Abbildung 2.8 stellt graphisch die Ergebnisse obiger Gleichungen dar, hier das erforderliche Speichervolumen abhängig von der mittleren Fallhöhe sowie der zu erzielenden Gesamtleistung.



**Abbildung 2.8:** Erforderliches Speichervolumen als Funktion der mittleren Fallhöhe sowie der Gesamtleistung im Turbinenbetrieb

Das Ergebnis der Dimensionierung der Krafthauskaverne für einen Maschinensatz, abhängig von der Leistung je Maschinensatz und vorliegender mittlerer Fallhöhe kann auch Tabelle 2.5 bis Tabelle 2.7 entnommen werden. Für das untertägige PSW sind die Zeilen 27 und 33, gekennzeichnet mit „Referenzanlage“, in den folgenden Tabellen maßgebend.

**Tabelle 2.5:** Krafthausdimensionen und Turbinenlayout für einen Maschinensatz (Quelle: Voith AG)

Hydraulic Boundary conditions				Turbine layout (see Fig. 2.1)				
Project Name	Turbine Type	Turbine Output (MW)	Head H (m)	turbine diameter	turbine rot. speed	turbine specific speed (opt)	setting (turbine cl - TWL)	diameter Main Inlet Valve (MIV)
1	reversible	30	200	2.06	600	39.05	-22.93	1.22
2	reversible	60	200	2.54	500	47.06	-31.79	1.72
3	reversible	90	200	3.34	375	42.72	-26.94	2.11
4	reversible	120	200	3.77	333	44.01	-28.37	2.43
5	reversible	30	300	1.95	750	28.67	-23.24	0.93
6	reversible	60	300	2.47	600	32.72	-29.29	1.30
7	reversible	90	300	2.97	500	33.45	-30.42	1.59
8	reversible	120	300	3.46	429	33.08	-29.84	1.83
9	reversible	30	400	1.68	1000	26.60	-30.28	0.76
10	reversible	60	400	2.25	750	28.28	-33.49	1.06
11	reversible	90	400	2.81	600	27.68	-32.34	1.30
12	reversible	120	400	2.85	600	32.26	-41.37	1.48
13	reversible	30	500	1.85	1000	20.48	-26.18	0.69
14	reversible	60	500	1.89	1000	28.54	-44.93	0.90
15	reversible	90	500	2.50	750	26.14	-39.19	1.11
16	reversible	120	500	3.11	600	24.16	-34.56	1.30
17	reversible	30	600	1.36	1500	24.05	-43.11	0.57
18	reversible	60	600	2.04	1000	22.75	-39.51	0.82
19	reversible	90	600	2.70	750	21.08	-34.97	1.02
20	reversible	120	600	2.72	750	24.05	-43.11	1.14
21	ternary	30	700	1.43	750	0.27	ca. -20m (Pump)	0.71
22	ternary	60	700	1.79	600	0.27	ca. -20m (Pump)	1.01
23	ternary	90	700	2.15	500	0.26	ca. -20m (Pump)	1.24
24	ternary	120	700	2.51	428	0.25	ca. -20m (Pump)	1.43
25	ternary	30	800	1.53	750	0.23	ca. -30m (Pump)	0.65
26	ternary	60	800	1.92	600	0.23	ca. -30m (Pump)	0.91
27	ternary	90	800	2.30	500	0.24	ca. -30m (Pump)	1.12
28	ternary	120	800	2.68	428	0.21	ca. -30m (Pump)	1.29
Referenzanlage - Turbinenauslegung								
25	ternary - FT	30	400	1.20	1000	29.90	-15.49	1.00
26	ternary - FT	60	400	1.97	600	25.61	-13.45	1.44
27	ternary - FT	90	400	2.37	500	26.11	-13.51	1.76
28	ternary - FT	120	400	2.41	500	29.90	-15.13	2.00
29	ternary - FT	150	400	2.79	429	28.73	-14.45	2.25
30	ternary - FT	180	400	3.18	375	27.60	-13.85	2.48
Referenzanlage - Pumpenauslegung				D p	n p	ng p	hs p	flutig
31	ternary - Pu	30	400	1.23	1000.00	34.57	-17.50	2
32	ternary - Pu	60	400	2.00	600.00	29.29	-12.20	2
33	ternary - Pu	90	400	2.40	500.00	29.89	-12.80	2
34	ternary - Pu	120	400	2.46	500.00	34.52	-17.50	2
35	ternary - Pu	150	400	2.85	428.57	33.08	-16.00	2
36	ternary - Pu	180	400	3.22	375.00	31.71	-14.60	2



**Tabelle 2.6:** Krafthausdimensionen und Turbinenlayout für einen Maschinensatz 2 (Quelle: Voith AG)

Hydraulic Boundary conditions				acc. to Quicksizing)					
Project Name	Turbine Type	Turbine Output (MW)	Head H (m)	distance MIV - turbine cl	max. spiral case width	draft tube depth	draft tube length	turbine flow	diameter penstock / turbine
1	reversible	30	200	2.46	5.36	4.45	6.99	16.85	1.69
2	reversible	60	200	3.08	6.95	5.97	9.26	33.71	2.39
3	reversible	90	200	4.02	8.87	7.50	11.77	50.56	2.93
4	reversible	120	200	4.55	10.11	8.59	13.45	67.41	3.38
5	reversible	30	300	2.27	4.82	3.84	5.38	11.24	1.38
6	reversible	60	300	2.91	6.21	5.01	7.56	22.47	1.95
7	reversible	90	300	3.50	7.50	6.07	9.23	33.71	2.39
8	reversible	120	300	4.08	8.72	7.04	10.67	44.94	2.76
9	reversible	30	400	1.94	4.12	3.26	4.33	8.43	1.20
10	reversible	60	400	2.62	5.55	4.41	6.13	16.85	1.69
11	reversible	90	400	3.26	6.91	5.49	7.51	25.28	2.07
12	reversible	120	400	3.35	7.14	5.75	8.63	33.71	2.39
13	reversible	30	500	2.09	4.45	3.49	3.76	6.74	1.07
14	reversible	60	500	2.20	4.66	3.71	5.19	13.48	1.51
15	reversible	90	500	2.89	6.12	4.84	6.35	20.22	1.85
16	reversible	120	500	3.56	7.56	5.97	7.33	26.97	2.14
17	reversible	30	600	1.56	3.31	2.61	3.20	5.62	0.98
18	reversible	60	600	2.32	4.93	3.88	4.54	11.24	1.38
19	reversible	90	600	3.06	6.51	5.12	5.64	16.85	1.69
20	reversible	120	600	3.12	6.62	5.22	6.40	22.47	1.95
21	ternary	30	700	3.23	7.07	N/A	N/A	4.82	0.90
22	ternary	60	700	4.08	8.93	N/A	N/A	9.63	1.28
23	ternary	90	700	4.56	10.30	N/A	N/A	14.45	1.57
24	ternary	120	700	5.27	11.79	N/A	N/A	19.26	1.81
25	ternary	30	800	2.92	6.89	N/A	N/A	4.21	0.85
26	ternary	60	800	3.69	8.67	N/A	N/A	8.43	1.20
27	ternary	90	800	4.52	10.37	N/A	N/A	12.64	1.46
28	ternary	120	800	4.77	11.45	N/A	N/A	16.85	1.69
Referenzanlage - Turbinenauslegung									
25	ternary - FT	30	400	1.22	3.58	4.43	8.94	8.43	1.20
26	ternary - FT	60	400	1.79	5.34	7.47	15.33	16.85	1.69
27	ternary - FT	90	400	2.18	6.50	8.95	18.33	25.28	2.07
28	ternary - FT	120	400	2.45	7.15	8.86	17.88	33.71	2.39
29	ternary - FT	150	400	2.76	8.12	10.36	21.02	42.13	2.67
30	ternary - FT	180	400	3.05	9.02	11.88	24.19	50.56	2.93
Referenzanlage - Pumpenauslegung				stufig	scaled from Wehr				
31	ternary - Pu	30	400	2	2.95	2.95	2.09	6.74	0.74
32	ternary - Pu	60	400	2	4.80	4.80	3.40	13.48	1.20
33	ternary - Pu	90	400	2	5.75	5.75	4.08	20.22	1.44
34	ternary - Pu	120	400	2	5.90	5.90	4.18	26.97	1.48
35	ternary - Pu	150	400	2	6.83	6.83	4.85	33.71	1.71
36	ternary - Pu	180	400	2	7.72	7.72	5.48	40.45	1.94

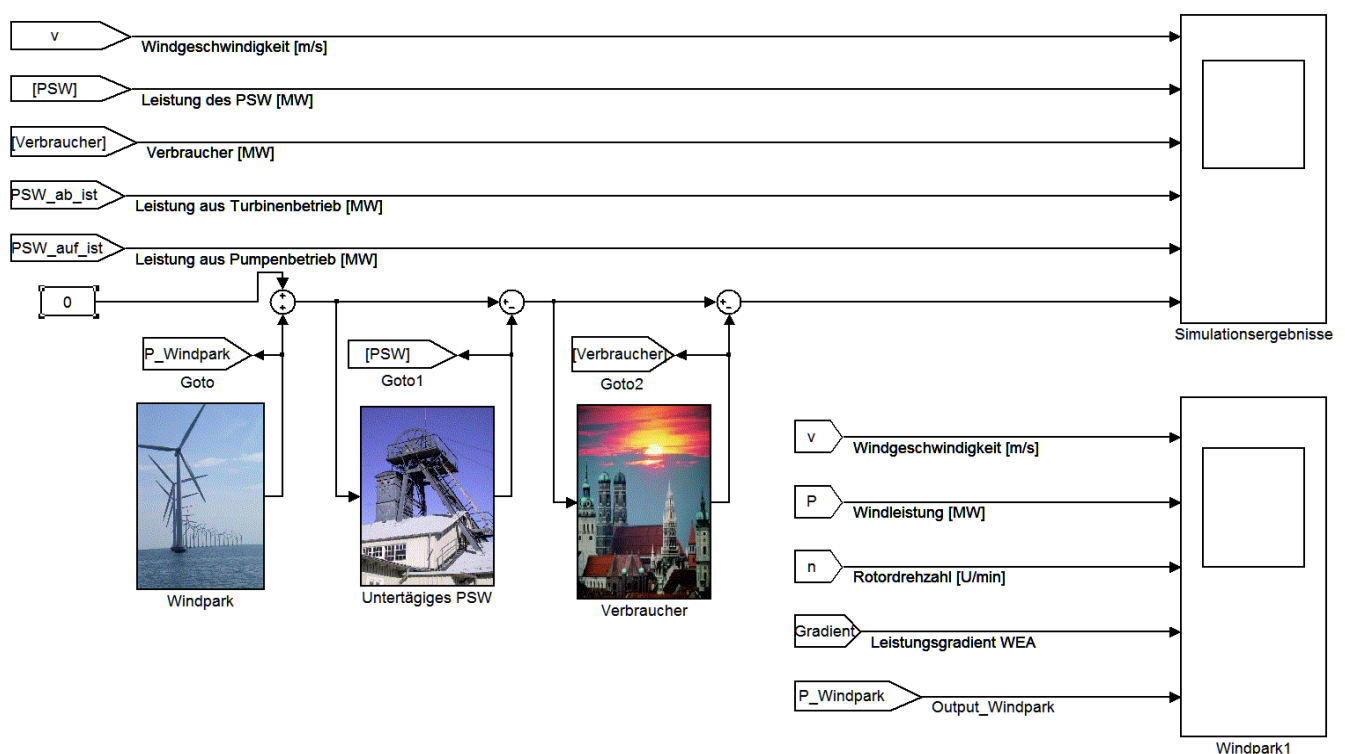
**Tabelle 2.7:** Krafthausdimensionen und Turbinenlayout für einen Maschinensatz 3 (Quelle: Voith AG)

Hydraulic Boundary conditions				Power House planning (acc. to HRW article Sept 2006)					
Project Name	Turbine Type	Turbine Output (MW)	Head H (m)	unit spacing	# of units	PH length (w/o service bay)	PH length (w service bay)	PH width	PH height
1	reversible	30	200	5.0	1	11.0	20.0	10.0	28.0
2	reversible	60	200	6.0	1	13.2	24.0	12.0	33.0
3	reversible	90	200	7.0	1	15.4	28.0	14.0	38.0
4	reversible	120	200	7.7	1	16.9	30.8	15.4	43.0
5	reversible	30	300	4.5	1	9.9	18.0	9.0	27.0
6	reversible	60	300	5.5	1	12.1	22.0	11.0	32.0
7	reversible	90	300	6.2	1	13.6	24.8	12.4	37.0
8	reversible	120	300	7.0	1	15.4	28.0	14.0	42.0
9	reversible	30	400	4.5	1	9.9	18.0	9.0	26.0
10	reversible	60	400	5.0	1	11.0	20.0	10.0	31.0
11	reversible	90	400	5.8	1	12.8	23.2	11.6	36.0
12	reversible	120	400	5.9	1	13.0	23.6	11.8	41.0
13	reversible	30	500	4.5	1	9.9	18.0	9.0	25.0
14	reversible	60	500	4.9	1	10.8	19.6	9.8	30.0
15	reversible	90	500	5.5	1	12.1	22.0	11.0	35.0
16	reversible	120	500	6.0	1	13.2	24.0	12.0	40.0
17	reversible	30	600	4.2	1	9.2	16.8	8.4	24.0
18	reversible	60	600	4.8	1	10.6	19.2	9.6	29.0
19	reversible	90	600	5.3	1	11.7	21.2	10.6	34.0
20	reversible	120	600	5.5	1	12.1	22.0	11.0	39.0
21	ternary	30	700	4.5	1	9.9	18.0	9.0	23.0
22	ternary	60	700	5.4	1	11.9	21.6	10.8	28.0
23	ternary	90	700	6.2	1	13.6	24.8	12.4	33.0
24	ternary	120	700	7.0	1	15.4	28.0	14.0	38.0
25	ternary	30	800	4.6	1	10.1	18.4	9.2	22.0
26	ternary	60	800	5.5	1	12.1	22.0	11.0	27.0
27	ternary	90	800	6.2	1	13.6	24.8	12.4	32.0
28	ternary	120	800	7.0	1	15.4	28.0	14.0	37.0
Referenzanlage - Turbinenauslegung									
25	ternary - FT	30	400	20.0	1	30.0	40.0	15.0	29.0
26	ternary - FT	60	400	25.0	1	35.0	45.0	19.0	29.0
27	ternary - FT	90	400	30.0	1	40.0	50.0	21.0	29.0
28	ternary - FT	120	400	36.0	1	46.0	56.0	23.0	29.0
29	ternary - FT	150	400	41.0	1	51.0	61.0	25.0	29.0
30	ternary - FT	180	400	45.0	1	55.0	65.0	28.0	29.0
Referenzanlage - Pumpenauslegung									
31	ternary - Pu	30	400						
32	ternary - Pu	60	400						
33	ternary - Pu	90	400						
34	ternary - Pu	120	400						
35	ternary - Pu	150	400						
36	ternary - Pu	180	400						

### 3. Betriebssimulation

Im Rahmen des Projektes wurde in Zusammenarbeit mit dem Teilbereich Energiesystemtechnik unter Nutzung der Software Simulink<sup>®</sup> ein Berechnungsmodell entwickelt, mit dessen Hilfe das Verhalten der Gesamtanlage im Pump- und Turbinenbetrieb simuliert werden kann. Zuerst wurden die Maschinenkennlinien für den aus

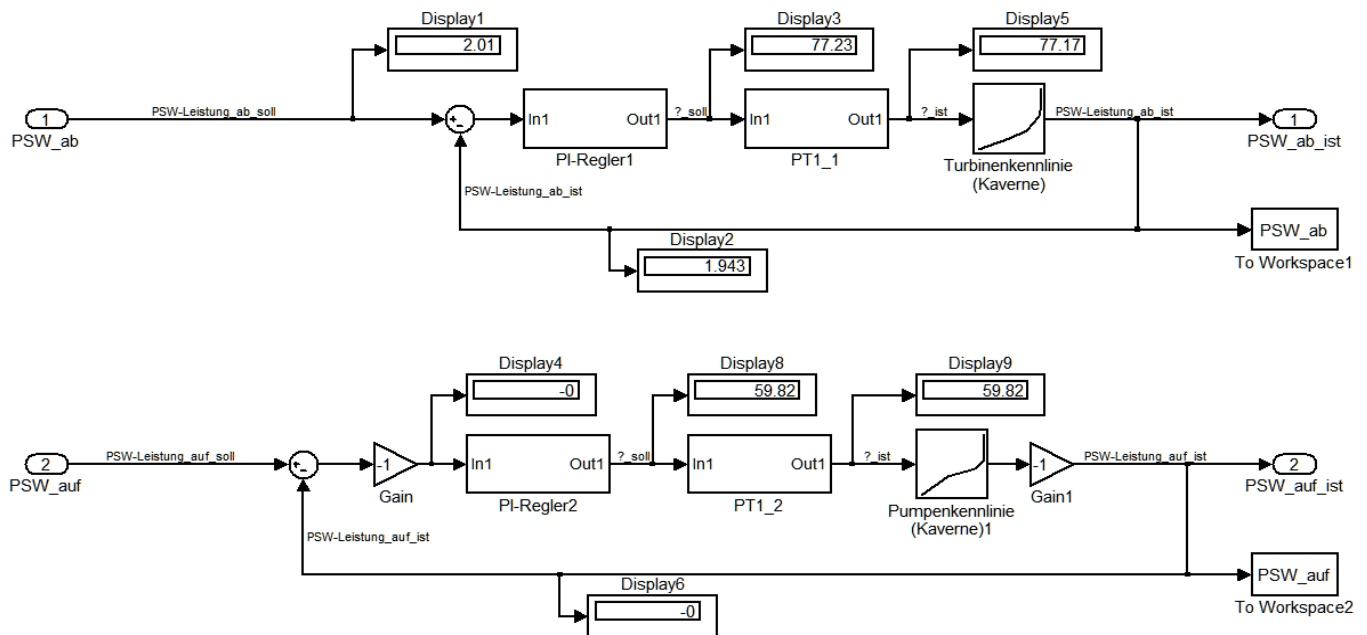
der Auslegung hervorgegangenen Maschinensatz (s. a. Kapitel 2) durch die Voith AG ermittelt. Diesen Maschinenkennlinien können die Wirkungsgrade und Leistungen der Pumpe und der Turbine in Abhängigkeit der Fallhöhe und des Durchflusses durch die Maschinen für eine fixe Drehzahl entnommen werden. Im Anschluss daran begannen die Arbeiten zur Regulierung der Einzelkomponenten Pumpe und Turbine basierend auf den Maschinenkennlinien. Im letzten Schritt erfolgte die Vernetzung mit dem Windparkmodell des Teilbereichs Energiesystemtechnik und abschließend die Simulation der Gesamtanlage. Die Oberfläche des Modells zur Simulation der Gesamtanlage zeigt Abbildung 3.1.



**Abbildung 3.1:** Oberfläche des Simulink Modells

In Abbildung 3.1 ist erkennbar, dass das Modell aus den Teilmodellen „Windpark“, „Untertägiges PSW“ und „Verbraucher“ besteht. Die relevanten Ergebnisse aus diesen Bereichen werden mit Hilfe der Oszilloskope „Simulationsergebnisse“ und „Windpark1“ während der Berechnung aufgezeichnet und dargestellt. Innerhalb des Modells der Gesamtanlage wurden seitens des Bereichs Maschinentechnik alle Komponenten außer dem „Windpark“ sowie dem „Verbraucher“ erstellt. Das Teilmodell „Untertägiges PSW“ soll im Folgenden kurz vorgestellt werden. Informationen zum Teilmodell „Windpark“ können dem Bericht der Energiesystemtechnik

entnommen werden. In Abbildung 3.2 ist das hinter dem mit „Untertägiges PSW“ betitelten Bild in Abbildung 3.1 liegende Teilmodell (Subsystem) dargestellt.

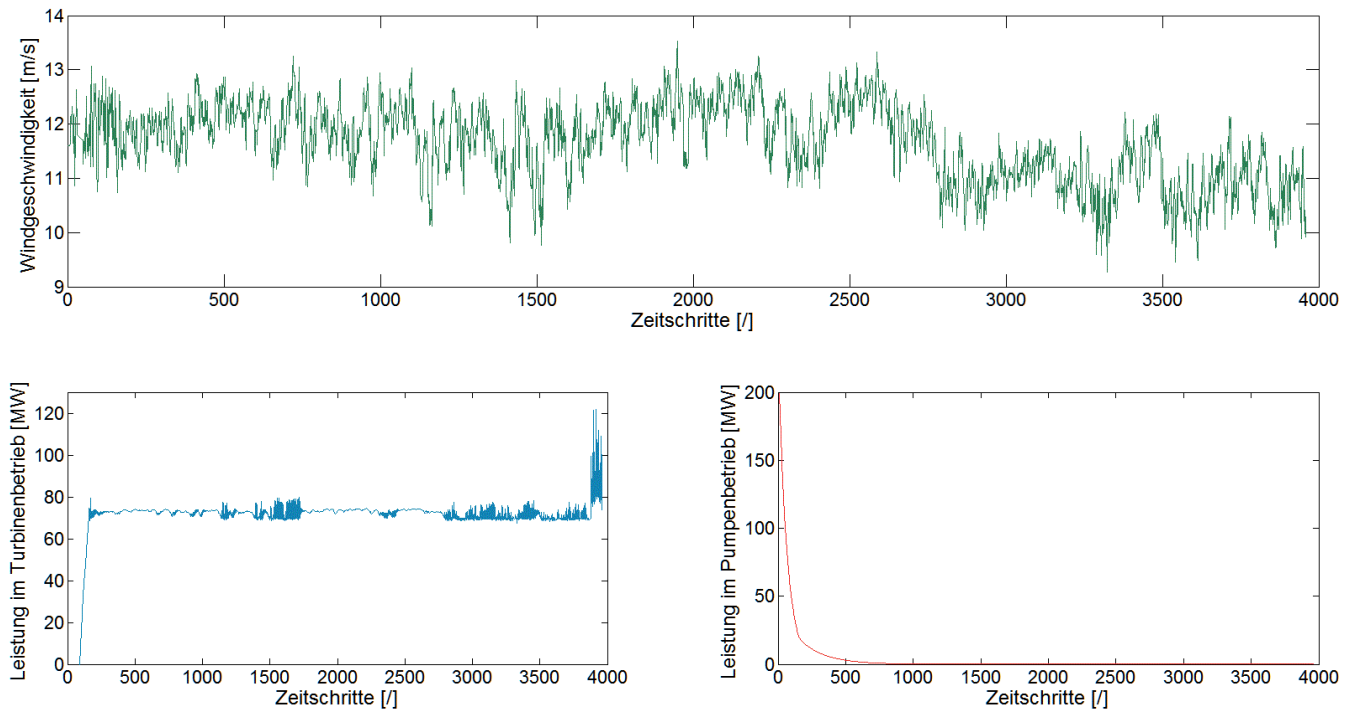


**Abbildung 3.2:** Simulation des Kavernenbereichs im Turbinenbetrieb (oben) sowie im Pumpenbetrieb (unten)

Das Subsystem „Untertägiges PSW“ enthält, wie oben dargestellt, die Komponenten Turbine (oben) und Pumpe (unten). Im Modell werden die Pumpe und Turbine mit Hilfe von PT1- und PI-Reglern sowie unter Einbeziehung der Pumpen- und Turbinenkennlinie (s. a. oben) nachgebildet. Für die Simulation sind zwei Szenarien maßgeblich:

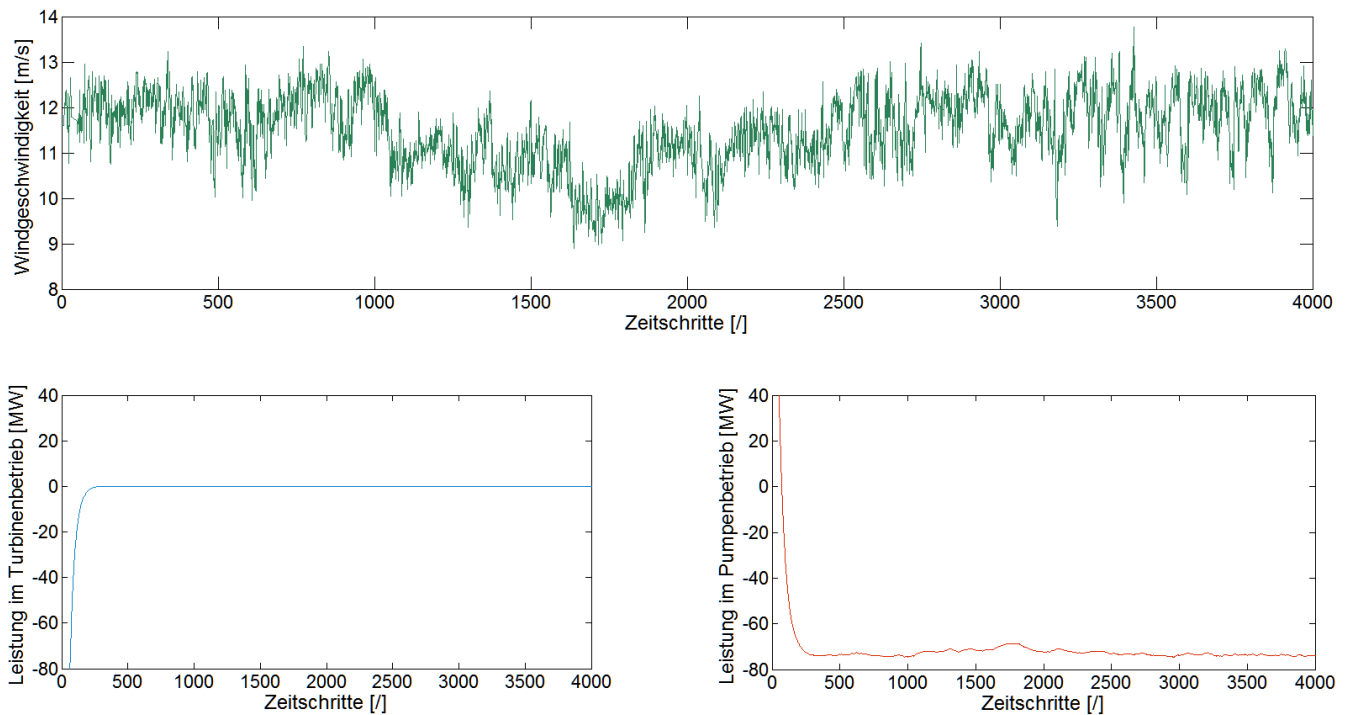
- Szenario 1: Es liegt ein Energieengpass vor. Das PSW läuft im Turbinenbetrieb und es wird Strom erzeugt.
- Szenario 2: Es besteht ein Überschuss an Strom, der zwischengespeichert werden muss. Das PSW läuft im Pumpenbetrieb.





**Abbildung 3.3:** Ergebnisse für den Turbinenbetrieb

In Abbildung 3.3 ist das Ergebnis für das Szenario 1 (PSW wird im Turbinenbetrieb gefahren) abgebildet. Es ist erkennbar, dass bei einem vorliegenden Energieengpass mit Hilfe der Turbine eine Leistung von knapp 80 MW durch das PSW erzeugt werden kann. Wie am rechten Graphen in Abbildung 3.3 sichtbar ist, beträgt die Pumpenleistung in dieser Zeit erwartungsgemäß 0 MW. Das Ergebnis für das Szenario 2 (PSW wird im Pumpenbetrieb gefahren) zeigt Abbildung 3.4. Im Falle eines zwischenzuspeichernden Energieüberschusses werden hier ca. 75 MW im Pumpenbetrieb genutzt, um das Speichermedium Wasser aus dem Unterbecken ins Oberbecken zu pumpen.



**Abbildung 3.4:** Ergebnisse für den Pumpenbetrieb

Im Rahmen dieses Kapitels wurde ein kurzer Eindruck von dem entwickelten Modell vermittelt. Wie in den obigen Abbildungen erkennbar ist, kann damit, wie in den Projektzielen vorgesehen, ein Pump- und Turbinenbetrieb unter Einbeziehung der vorhandenen Randbedingungen der Netzsituation und des Offshore-Windparks der Energiesystemtechnik nachgebildet werden.

#### 4. Besondere Erfordernisse an die Konstruktion

Im Bereich „Besondere Erfordernisse an die Konstruktion“ wurden beispielsweise Fragen

- der Aufstellung und Inbetriebnahme unter Tage
- der Instandhaltung (Life-Cycle Maschinentechnik) sowie
- der Auswirkungen der Nutzung anderer Speichermedien als Wasser (z. B. Sole)

betrachtet. In diesem Kapitel werden die eher allgemeinen Arbeiten sowie Ergebnisse dieses Aufgabenbereichs vorgestellt. Für Inhalte, die speziell die beiden im Rahmen der Projektaufstockung betrachteten Standorte betreffen wird hier nur auf die Kapitel 5.2 und 5.3 verwiesen.

Spätestens nach der Inbetriebnahme des Kraftwerks muss ein Instandhaltungsplan für zu wartende Komponenten wie z. B. die Druckrohrleitung, die Speicherbecken, den Kavernenbereich und die Maschinentechnik vorhanden sein. Mit der Fertigstellung der Maschinenauslegung liegen für die genutzten Maschinenkomponenten wie die Francis-Turbine oder die zweistufige, zweiflutige Kreiselpumpe entsprechende Instandhaltungspläne vor. In Tabelle 4.1 sind beispielhaft für den Leitapparat bzw. die Lager der Francis-Turbine auszuführende Tätigkeiten und die Intervalle, in denen diese anfallen, dargestellt.

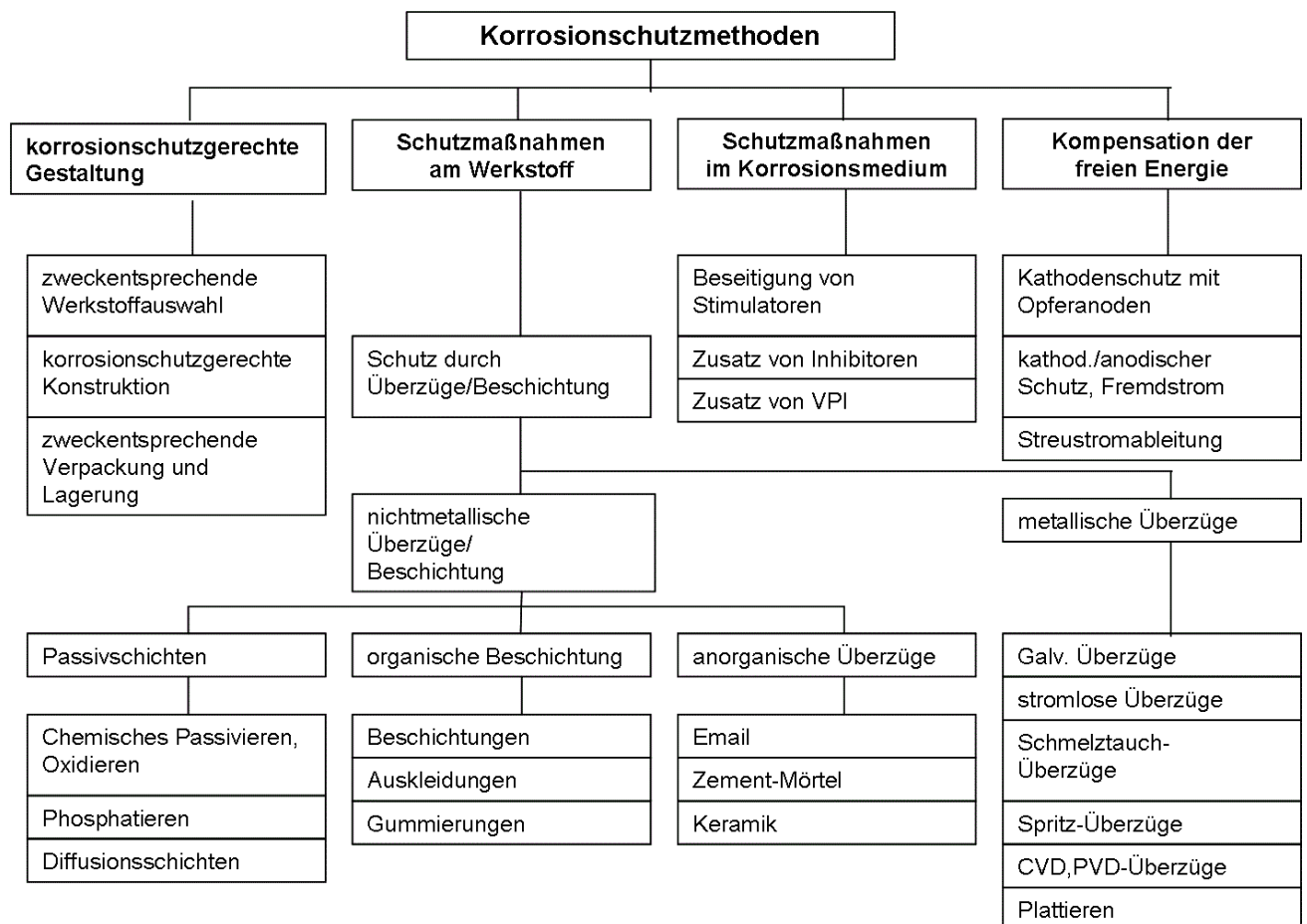
**Tabelle 4.1:** Auszug aus dem Instandhaltungsplan der Francis-Turbine  
(Quelle: Voith AG)

Tätigkeit (Inspektion)	Bauteil	Anzahl der Bau- teile	Stillstand	Intervall
<b>Trag- und Führungslager</b>				
Auf Dichtheit prüfen	Alle Gehäuseteile und Anschlüsse, Trag- und Führungslager		N	1 Monat
Auf Funktion prüfen	Kontaktinstrumente Trag- und Führungslager		N	1 Jahr
Ölbeschaffenheit kontrollieren, ggf. Öl austauschen	Trag- und Führungslager		N	1 Jahr
<b>Leitapparat</b>				
Mechanik visuell kontrollieren	Leitapparat		N	1 Monat
Überprüfen auf: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Korrosion und Erosion</li> <li>▪ Dichtheit der Dichtungen</li> <li>▪ Lagerspiel</li> </ul> Spaltabstand überprüfen				Min. alle 4 Monate
Lagerbuchsen überprüfen				



Stellung der Federlenker prüfen	Federlenker	24	J	1 Woche und nach jedem Abstellen
---------------------------------	-------------	----	---	----------------------------------

Für die Suche eines Pilotstandortes kamen zunächst nicht nur Bergwerke mit metallischen Rohstoffen sondern auch Salzbergwerke in Betracht. Somit wäre das Speichermedium nicht mehr Wasser sondern eine Sole. Daraus ergeben sich andere Anforderungen an eine Maschinenauslegung, da die Maschinenkomponenten dann vermehrt korrosiven Einflüssen ausgesetzt sind, was zu deren vorzeitigem Ausfall führen kann. Daher wurden erste Informationen zu Korrosionsschutzmethoden gesammelt. Eine Übersicht dazu zeigt Abbildung 4.1.



**Abbildung 4.1:** Korrosionsschutzmethoden (nach [SAT00])

In Abbildung 4.1 ist erkennbar, dass der Werkstoffauswahl eine große Bedeutung beizumessen ist. Daher wurde eine Recherche durchgeführt, welche Pumpenwerk-

stoffe bei konventionellen Pumpen beispielsweise in der chemischen Industrie zur Förderung von stark korrosiven Medien eingesetzt werden. Einen Auszug aus der daraus entstandenen Tabelle zeigt Abbildung 4.2.

Pumpe	Bezeichnung	Firma	Fördermedium	Werkstoff Gehäuse
Normpumpe	NK	Grundfos	Meerwasser, Brackwasser, allg. industrielle Medien	1.4517
Normpumpe	MAXA	Grundfos	Medien mit hohem Feststoffanteil, Medien in chem. Anlagen	1.4404/1.4435
Blockpumpe	Etabloc GN	KSB	Sole	Grauguss JL 1040
Blockpumpe	Etabloc BN	KSB	Meerwasser	Zinnbronze CC480K-GS
Normpumpe	Etanorm B	KSB	Meerwasser	Zinnbronze CC480K-GS
Wassernormpumpe	Etaseco	KSB	aggressive, feuergefährliche, giftige Medien	JL 1040
Chemienormpumpe	Magnochem	KSB	aggressive, explosive, giftige Medien	JS 1025
Sprialgehäusepumpe	RDLO	KSB	Roh-/Brauch- und Seewasser (max. 100mg/l)	Ni-Resist
Prozesspumpe	RPH	KSB		A 216 Grade WCB
Chemienormpumpe	Secochem-Ex	KSB	aggressive, feuergefährliche, giftige Medien	JS 1025
Chemienormpumpe	3299	ITT Fluid	chemische, korrosive Medien	PFA
Chemieprozesspumpe	ICM	ITT Fluid	korrosive, giftige und reine Medien	316SS
Schmutzwasserpumpe	JC	ITT Fluid	Schmutzwasser, Brackwasser, korrosive und abrasive Medien	Gusseisen
Magnet-Chemienormpumpe	MNK	Richter	korrosive, gefährliche und reine Medien	EN-JS 1049
Chemienormpumpe	SCK	Richter	korrosive, verunreinigte und reine Medien	PFA/PTFE (Panzerung) Sphäroguss EN-JS 1049 (Auskleidung)

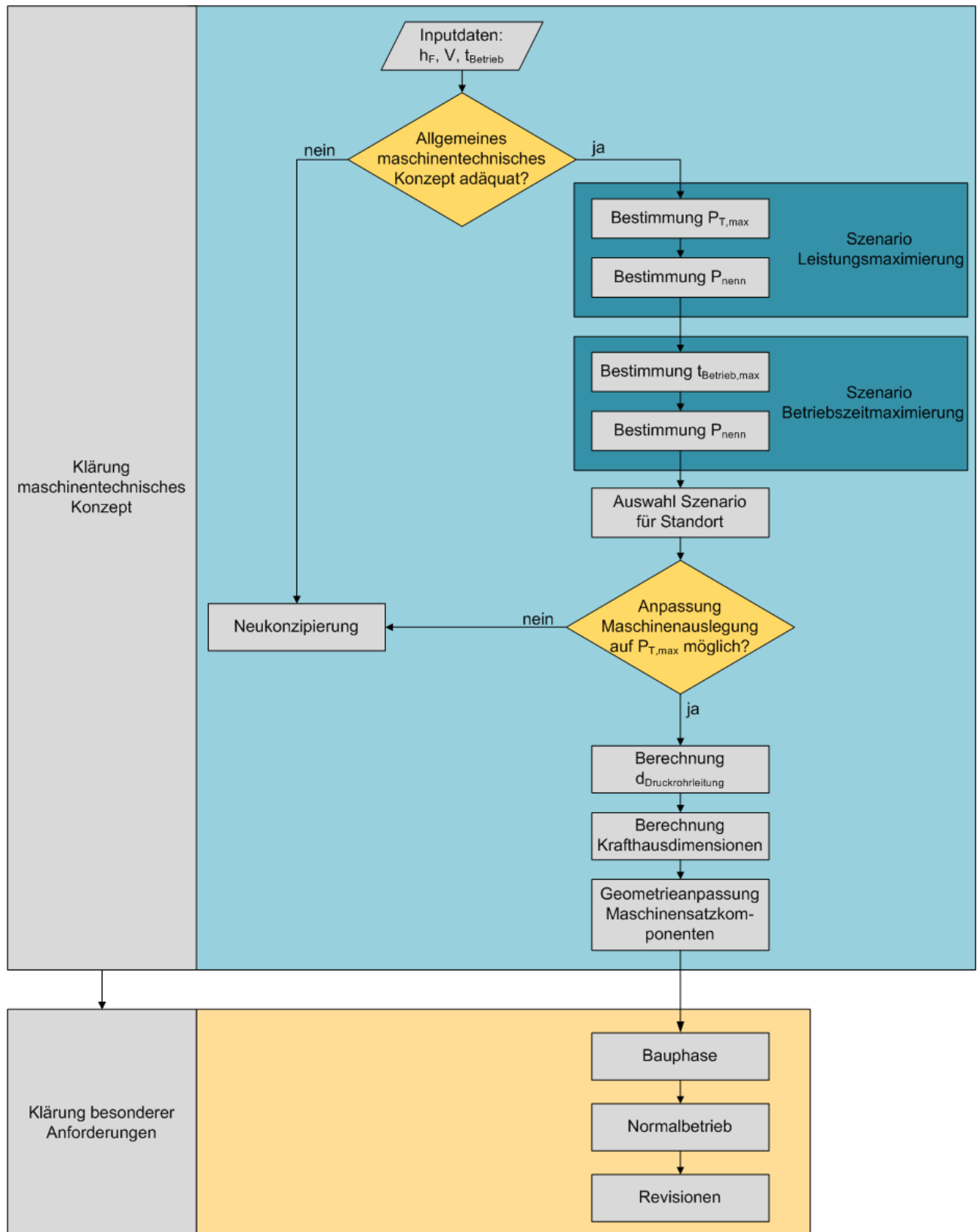
**Abbildung 4.2:** Auszug aus Pumpenwerkstofftabelle

Diese Informationen hätten von Nutzen sein können, falls bei späteren Betrachtungen Salzbergwerke mit ihren im Bereich Bergbau vorgestellten Vorzügen und Nachteilen wieder in den Fokus gerückt wären und das durch die Maschinensätze zu fördernde Medium nicht Wasser sondern eine Sole gewesen wäre. Im Laufe des Projekts wurde diese Option von Seiten des Bergbaus verworfen und somit in der Maschinentechnik nicht weiter verfolgt.

## 5. Modellbergwerke

### 5.1 Vorgehensweise bei der Betrachtung der Standorte

In diesem Kapitel wird allgemein einleitend und für die spätere Betrachtung beider Standorte die dazu verwendete Vorgehensweise beschrieben. Im Rahmen der Kapitel 5.2 und 5.3 werden die aus dieser Vorgehensweise resultierenden Ergebnisse dargestellt. Das allgemeine Vorgehen verbildlicht Abbildung 5.1.



**Abbildung 5.1:** Vorgehensweise bei der Standortbetrachtung

Prinzipiell können bei der Standortbetrachtung zwei Phasen unterschieden werden. In der ersten Phase gilt es, offene Fragen im Zusammenhang mit dem maschinentechnischen Konzept zu klären, sodass nach Abschluss der Arbeiten in diesem Bereich ein zum Standort passendes maschinentechnisches Konzept vorliegt. In der zweiten Phase werden dann besondere Anforderungen betrachtet, die, zusammenhängend mit der Anwendung des Konzepts auf den Standort, an dem Standort vorliegen.

Zunächst werden im Rahmen der ersten Phase von den anderen Teildisziplinen die Randbedingungen des Standorts wie z. B. die mittlere Fallhöhe  $h_F$ , das verfügbare Speichervolumen je Becken  $V$  sowie die avisierte Betriebszeit des PSW je Zyklus  $t_{\text{Betrieb}}$  benannt. Darauf aufbauend wird geprüft, ob das erstellte, allgemeine maschinentechnische Konzept aus Kapitel 2 für den Standort angemessen ist. Falls nicht, also wenn beispielsweise anstatt eines ternären Maschinensatzes ein reversibler aufgrund der vorliegenden Fallhöhe oder aufgrund einer nur geringen Anzahl an Lastzyklen pro Tag besser geeignet wäre, erforderte dies eine Neukonzipierung. Sollte sich das Konzept jedoch als angemessen erweisen, werden in Abhängigkeit der oben benannten Randbedingungen die maximal erzielbare Leistung im Turbinenbetrieb  $P_{T,\max}$  sowie unter Einbeziehung der Verluste aus dem Bereich der Energiesystemtechnik die realisierbare Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  des PSW berechnet, wobei diese Berechnungen bei Betrachtung mehrerer möglicher Betriebszeiten auf der größten Betriebszeit basieren. Im nächsten Schritt wird dann geprüft, ob eine Leistungsanpassung des Maschinensatzes des allgemeinen maschinentechnischen Konzepts auf die aus den Randbedingungen resultierende größtmögliche Turbinenleistung  $P_{T,\max}$  möglich ist. Falls dem nicht so wäre, machte dies auch hier eine Neukonzipierung erforderlich. Steht dem hingegen nichts entgegen, so können anschließend der erforderliche nutzbare Durchmesser der Druckrohrleitung  $d_{\text{Druckrohrleitung}}$  sowie die benötigten Dimensionen der Maschinenkaverne benannt werden, die wiederum wichtige Randbedingungen für beispielsweise den Bergbau darstellen. Zuletzt werden in diesem Bereich die Geometrien der Maschinensatzkomponenten durch die Nutzung von Ähnlichkeitsgesetzen angepasst.

Im Rahmen der zweiten Phase werden dann standortabhängige Aspekte betrachtet, die z. B. im Zusammenhang mit

- dem Transport der Maschinensatzkomponenten während der Errichtung des PSW
- der Zugänglichkeit und Überwachung der Maschinentechnik im Normalbetrieb des PSW sowie
- erforderlichen Maßnahmen im Rahmen von Revisionen der Maschinentechnik stehen.

## 5.2 Modellbergwerk Grund

Die in Kapitel 5.1 vorgestellte Herangehensweise wird in diesem Kapitel auf das Modellbergwerk Grund angewendet. Die für die Maschinentechnik maßgebenden, durch den Bergbau sowie die Energiesystemtechnik vorgegebenen, Randbedingungen an diesem Standort sind v. a. die mittlere Fallhöhe von 700 m sowie das jeweils im Ober- und Unterbecken vorhandene nutzbare Speichervolumen von 266.000 m<sup>3</sup> (inklusive einer berücksichtigten Schwankungsbreite von 10 %).

In Anbetracht der verfügbaren großen Fallhöhe am Standort sowie der weiterhin bestehenden Anforderung eines schnellen Betriebswechsels erwies sich das entwickelte, allgemeine maschinentechnische Konzept aus Kapitel 2 auch für diesen Standort als adäquat. Daraufhin wurden entsprechend den vorliegenden Randbedingungen sowohl die Szenarien der Maximierung der Betriebszeit  $t_{\text{Betrieb,max}}$  sowie im Gegensatz dazu das Szenario der Maximierung der Leistung im Turbinenbetrieb  $P_{\text{T,max}}$  betrachtet und später in Abstimmung mit den anderen Teildisziplinen das zu verfolgende Szenario ausgewählt (s. Tabelle 5.1).

**Tabelle 5.1:** Randbedingungen und daraus resultierende Szenarien

Input		Output		
Mittlere Fallhöhe $h_F [m]$	Speicher- volumen $V [m^3]$	Betriebszeit $t_{\text{Betrieb,max}} [h]$	Turbinen- leistung $P_{\text{Turbine,max}} [MW]$	Bemerkung
700	266.000	8	52	Betriebszeit- maximierung
		4	105	Favorisiertes Szenario
		2	210	Leistungsmaximierung

Am Standort wurde entsprechend der Ergebnisse aus Tabelle 5.1 weder das Szenario der maximalen Betriebszeit  $t_{\text{Betrieb,max}}$  noch das der maximalen Turbinenleistung  $P_{T,\text{max}}$  sondern das mittlere mit einer Betriebszeit von 4 h und einer Turbinenleistung von 105 MW gewählt. Dies resultierte auch aus den Beurteilungen der Teildisziplinen Energiesystemtechnik, Recht sowie Ökonomie. Ausschlaggebend war, dass diese Option die Möglichkeit der Teilnahme an der Sekundärregelung mit einer Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  des PSW von 100 MW bietet und sich dies auch aus ökonomischer und rechtlicher Sicht als vorteilhaftestes Szenario für diesen Standort erwiesen hat.

Die realisierbare Leistung im Turbinenbetrieb  $P_{T,\text{max}}$  beträgt somit 105 MW. Unter Berücksichtigung der Verluste aus dem Bereich der Energiesystemtechnik wurde die realisierbare Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  des PSW zu, wie bereits oben erwähnt, 100 MW berechnet. Da eine Anpassung der Turbinenleistung von 94 MW auf die avisierten 105 MW realisierbar war, konnte anschließend der Durchmesser der Druckrohrleitung  $d_{\text{Druckrohrleitung}}$  sowie die für den Maschinensatz benötigten Dimensionen der Krafthauskaverne ermittelt werden. Die sich ergebenden resultierenden Größen  $d$  für den Standort fasst Abbildung 5.2 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zusammen. Neben dem maßgeblichen Szenario einer Betriebszeit von 4 h bei einer Leistung im Turbinenbetrieb von 105 MW (s. o.) wird hier auch zusätzlich

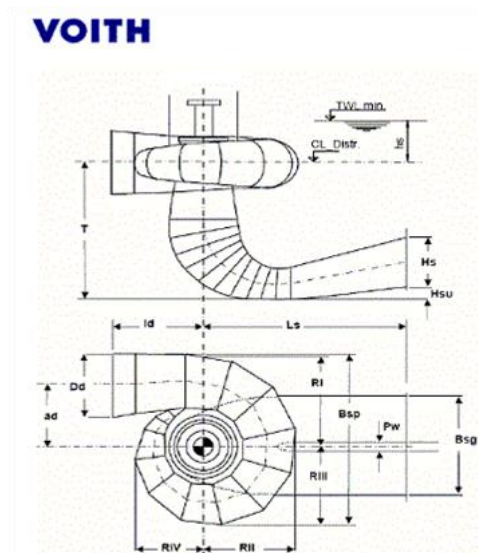
die Option einer zweistündigen Betriebszeit bei gleicher Turbinenleistung aufgeführt.

Input			Output		
Fallhöhe [m]	$V_{\text{nutzbar}}$ [m <sup>3</sup> ]	Betriebszeit [h]	$P_{\text{ges, max}}$ [MW]	$d_{\text{Druckrohrleitung}}$ [m]	Krafthauskaverne LxBxH [m]
700	242.000	4	105	1,69	50x21x29
700	121.000	2	105	1,69	50x21x29

**Abbildung 5.2:** Randbedingungen und daraus resultierende Größen

Schließlich erfolgte im Rahmen der ersten Phase die Anpassung der Geometrien der Komponenten unter Berücksichtigung von Ähnlichkeitsgesetzen. In Abbildung 5.3 und Abbildung 5.4 werden die aus der Fallhöhenvergrößerung resultierenden Änderungen einiger Geometriegrößen der Pumpe und Turbine gegenübergestellt.

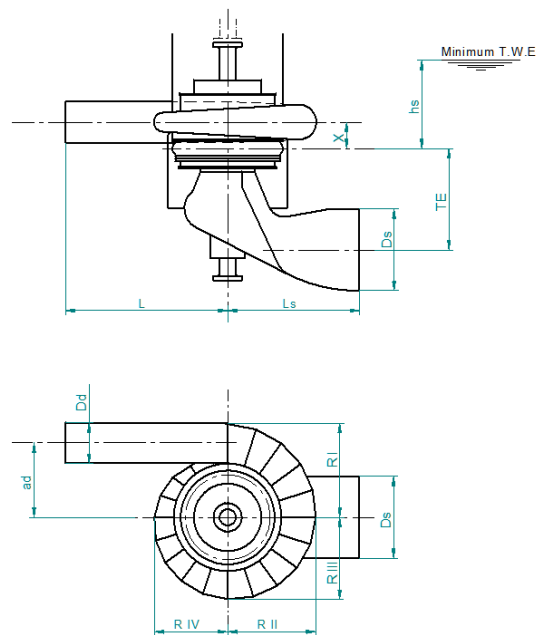
	Fallhöhe 400 m	Fallhöhe 700 m
<b>Drehzahl n [1/min]</b>	<b>500</b>	<b>650</b>
<b>D<sub>1a</sub> [m]</b>	<b>2,35</b>	<b>1,65</b>
<b>D<sub>valve</sub> [m]</b>	<b>1,9</b>	<b>1,33</b>
<b>BSP [m]</b>	<b>6,8</b>	<b>4,76</b>
<b>T [m]</b>	<b>8,75</b>	<b>6,13</b>



**Abbildung 5.3:** Änderung der Geometriegrößen der Francis-Turbine in Abhängigkeit der Fallhöhe (Quelle: Voith AG)



	Fallhöhe 400 m	Fallhöhe 700 m
Drehzahl n [1/min]	500	650
D <sub>2</sub> [m]	2,47	1,73
D <sub>d</sub> [m]	1,67	1,17
H <sub>s</sub> [m]	-25	-25

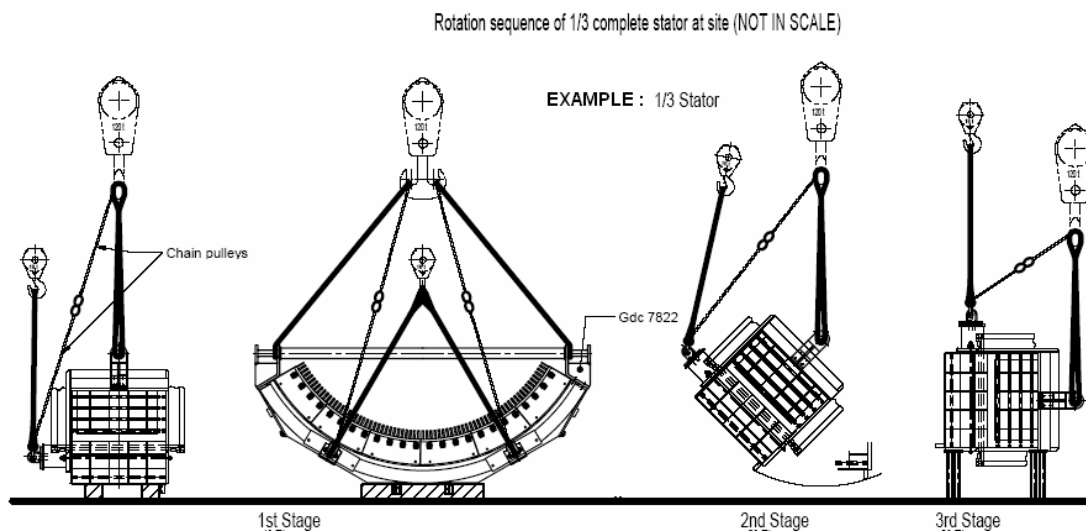


**Abbildung 5.4:** Änderung der Geometrie Größen der Pumpe in Abhängigkeit der Fallhöhe (Quelle: Voith AG)

Aus den obigen Abbildungen ist erkennbar, dass eine fünfundsiebzigprozentige Steigerung der mittleren Fallhöhe von 400 m auf 700 m zu einer Geometrieverkleinerung von ca. 30 % führt.

Im Rahmen der zweiten Phase der Vorgehensweise bei der Standortbetrachtung gilt es besondere Anforderungen aufzuzeigen, die im Zusammenhang mit der Bauphase, dem Normalbetrieb des PSW sowie Revisionen stehen. Während der Bauphase sind aus maschinentechnischer Sicht v. a. der Transport der Maschinenkomponenten zum Standort und in die Maschinenkaverne von Interesse, sowie die Installation der Maschinensätze in der Kaverne. Für den Transport der Maschinenkomponenten unter Tage und die sich dort anschließende Installation des Kraftwerks ist das vom Bergbau erarbeitete Kraftwerkskonzept, für die Maschinentechnik aber besonders der vorhandene, nutzbare Schachtdurchmesser maßgebend. Dieser beträgt im Modellbergwerk 3,5 m. Probleme entstanden zunächst, da die Dimensionen der unter Tage zu transportierenden Maschinenkomponenten den zur Verfügung stehenden Schachtdurchmesser z. T. überschritten. War dies, wie z. B. beim ausgelegten Generator mit einem Durchmesser von ca. 4 m der Fall, mussten in Zusammenarbeit mit den anderen Teildisziplinen Lösungen gefunden werden. Die praktikabelste Lösung für dieses Problem bestand seitens der Maschinentechnik in einer mehrteiligen Anlieferung von Komponenten wie z. B. dem Turbinen- und Wandlergehäuse sowie

dem späteren Zusammenbau unter Tage. Dazu musste bei der Kraftwerkskonzipierung durch den Bergbau ein entsprechend großer Montagebereich vorgesehen werden. Was den Generator betrifft, so sollte dessen Rotor einteilig geliefert werden, der Stator jedoch vierteilig. Wie in Abbildung 5.5 dargestellt ist, kann ein z. B. im Betrieb stehend angeordneter Generator liegend angeliefert und durch den Schacht unter Tage befördert werden, bevor er entsprechend der vorgesehenen Betriebsanordnung in eine vertikale Position gebracht wird.



**Abbildung 5.5:** Vorgehen beim Transport des Generators unter Tage (Quelle: Voith AG)

Weitere Ausführungen hinsichtlich der Transportmöglichkeiten der Komponenten zum Standort und von dort aus in die Maschinenkaverne enthält der Bericht des Teilbereichs Bergbau.

Nach Abschluss der Installation und Inbetriebnahme ist davon auszugehen, dass das PSW größtenteils im „Normalbetrieb“ entsprechend der Planungen des Betreibers gefahren wird. Nach Angaben in [GIE05] ist davon auszugehen, dass sich in diesem Zeitraum nicht ständig Personen in der Maschinenkaverne aufhalten müssen. In [GIE05] wird nahegelegt, dass das PSW im Betrieb von einer örtlich distanzierten Leitwarte ferngesteuert wird. Weiterhin wird mit Hilfe von Meßtechnik der Zustand des PSW an die Leitwarte gemeldet und überwacht. Für anstehende Revisionen oder im Störfall sollte nach [GIE05] vor Ort im PSW eine kleine Leitwarte vorhanden sein, mit der manuell direkt in den Betrieb eingegriffen werden kann, was entsprechend im Konzept des Teilbereichs Bergbau berücksichtigt wurde. In festgelegten Abständen

den ist der Betrieb des PSW für Revisionen der Gesamtanlage oder Teilen davon einzustellen. Dann erfolgt planmäßig die Kontrolle der maschinentechnischen Komponenten entsprechend den Vorgaben der Hersteller (s. a. Kapitel 4), in deren Rahmen dann der Zustand der technischen Komponenten aber auch der des Ober- und Unterwassersystems sowie der Becken kontrolliert wird und ggf. geschädigte oder verschlissene Komponenten ausgetauscht werden.

### **5.3 Modellbergwerk Pöhla**

Im Rahmen dieses Kapitels wird, analog zu Kapitel 5.2, die in Kapitel 5.1 vorgestellte Herangehensweise auf das Modellbergwerk am Standort Pöhla angewandt. Aspekte, die an diesem Standort exakt mit denen des Standorts Bad Grund aus Kapitel 5.2 übereinstimmen, werden hier nur kurz benannt. Für eine ausführlichere Beschreibung wird dann auf Kapitel 5.2 verwiesen.

Die maßgebenden, durch die Teilbereiche Bergbau sowie Energiesystemtechnik vorgegebenen, Randbedingungen am Standort Pöhla umfassen eine mittlere Fallhöhe von 600 m, ein jeweils im Ober- und Unterbecken vorhandenes, verfügbares Speichervolumen von 320.000 m<sup>3</sup> (inklusive einer berücksichtigten Schwankungsbreite von etwa 10 %).

Auch hier wurde geprüft, ob das allgemeine maschinentechnische Konzept für den Standort Pöhla grundsätzlich geeignet ist. Aufgrund der vorliegenden Fallhöhe und dem bestehenden Anspruch, Betriebswechsel schnell vollziehen zu können, erwies sich das entwickelte, allgemeine maschinentechnische Konzept der Nutzung eines ternären, liegenden Maschinensatzes (s. a. Kapitel 2) auch für den Standort Pöhla als angemessen. Eine Neukonzipierung war nicht nötig.

Daraufhin wurden auch für diesen Standort entsprechend den vorliegenden Randbedingungen sowohl die Szenarien der Maximierung der Betriebszeit  $t_{\text{Betrieb,max}}$  sowie im Gegensatz das der Maximierung der Leistung im Turbinenbetrieb  $P_{\text{T,max}}$  betrachtet (s. Tabelle 5.2). Anschließend erfolgte in Abstimmung mit den anderen Teildisziplinen die Wahl des zu verfolgenden Szenarios.

**Tabelle 5.2:** Randbedingungen und daraus resultierende Szenarien

Input		Output		
Mittlere Fallhöhe $h_F [m]$	Speicher- volumen $V [m^3]$	Betriebszeit $t_{\text{Betrieb,max}} [h]$	Turbinen- leistung $P_{\text{Turbine,max}} [MW]$	Bemerkung
600	288.000	8	52	Betriebszeit- maximierung
		4	105	Favorisiertes Szenario
		2	210	Leistungsmaximierung

Auch am Standort Pöhla wurde anhand der Darstellungen aus Tabelle 5.2 weder das Szenario der maximalen Betriebszeit  $t_{\text{Betrieb,max}}$  noch das der maximalen Turbinenleistung  $P_{T,\text{max}}$  gewählt, sondern das mittlere mit einer Betriebszeit von 4 h und einer Turbinenleistung von 105 MW. Ausschlaggebend war aus Sicht der Teildisziplinen Recht, Ökonomie und Energiesystemtechnik, dass diese Option die Möglichkeit der Teilnahme an der Sekundärregelung mit einer Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  des PSW von 100 MW bietet und sich dies auch aus ökonomischer und rechtlicher Sicht als vorteilhaftestes Szenario für diesen Standort erwiesen hat.

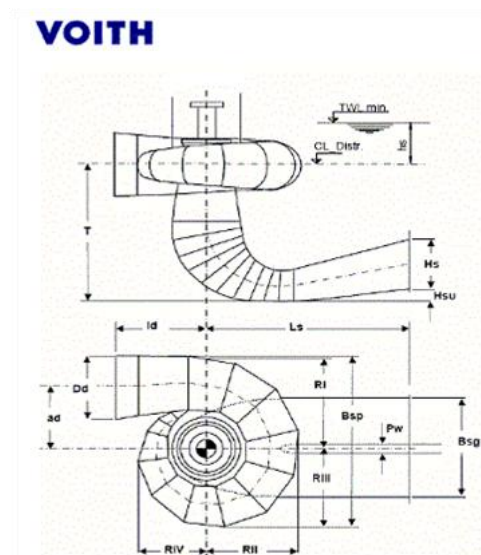
Die realisierbare Leistung im Turbinenbetrieb  $P_{T,\text{max}}$  beträgt demnach 105 MW. Unter Berücksichtigung der Verluste aus dem Bereich der Energiesystemtechnik wurde die realisierbare Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  des PSW zu 100 MW berechnet. Da eine Anpassung der Turbinenauslegung auf eine Leistung von 105 MW realisierbar war, konnte anschließend der Durchmesser der Druckrohrleitung  $d_{\text{Druckrohrleitung}}$  sowie die für den Maschinensatz benötigten Dimensionen der Krafthauskaverne ermittelt werden. Die sich ergebenden resultierenden Größen für den Standort fasst Abbildung 5.6 zusammen. Neben dem maßgeblichen Szenario einer Betriebszeit von 4 h bei einer Leistung im Turbinenbetrieb von 105 MW (s. o.) wird hier zusätzlich die Option einer möglichen, zweistündigen Betriebszeit bei gleicher Turbinenleistung aufgeführt.

Input			Output		
Fallhöhe [m]	$V_{\text{nutzbar}}$ [m <sup>3</sup> ]	Betriebszeit [h]	$P_{\text{ges, max}}$ [MW]	$d_{\text{Druckrohrleitung}}$ [m]	Krafthauska- verne LxBxH [m]
600	282.000	4	105	1,82	50x21x29
600	141.000	2	105	1,82	50x21x29

**Abbildung 5.6:** Randbedingungen und daraus resultierende Größen

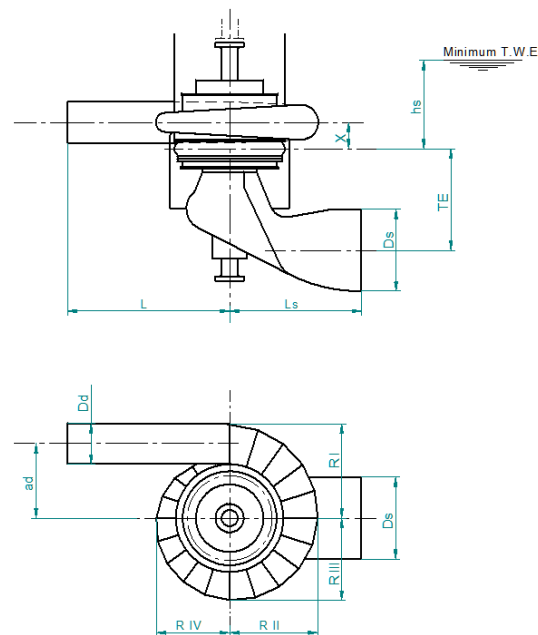
Schließlich erfolgte als letzter Schritt im Rahmen der ersten Phase die Anpassung der Geometrien der Komponenten unter Berücksichtigung von Ähnlichkeitsgesetzen. In Abbildung 5.7 und Abbildung 5.8 werden die aus der Fallhöhenvergrößerung resultierenden Änderungen einiger Geometriegrößen der Pumpe und Turbine gegenübergestellt.

	Fallhöhe 400 m	Fallhöhe 600 m
<b>Drehzahl n [1/min]</b>	<b>500</b>	<b>600</b>
<b><math>D_{1a}</math> [m]</b>	<b>2,35</b>	<b>1,88</b>
<b><math>D_{\text{valve}}</math> [m]</b>	<b>1,9</b>	<b>1,52</b>
<b>BSP [m]</b>	<b>6,8</b>	<b>5,44</b>
<b>T [m]</b>	<b>8,75</b>	<b>7,00</b>



**Abbildung 5.7:** Änderung der Geometriegrößen der Francis-Turbine in Abhängigkeit der Fallhöhe (Quelle: Voith AG)

	Fallhöhe 400 m	Fallhöhe 700 m
Drehzahl n [1/min]	500	600
D <sub>2</sub> [m]	2,47	1,98
D <sub>d</sub> [m]	1,67	1,34
H <sub>s</sub> [m]	-25	-25



**Abbildung 5.8:** Änderung der Geometriegrößen der Pumpe in Abhängigkeit der Fallhöhe (Quelle: Voith AG)

Aus den obigen Abbildungen ist erkennbar, dass eine fünfzigprozentige Steigerung der mittleren Fallhöhe von 400 m auf 600 m zu einer Geometrieverkleinerung von ca. 20 % führt.

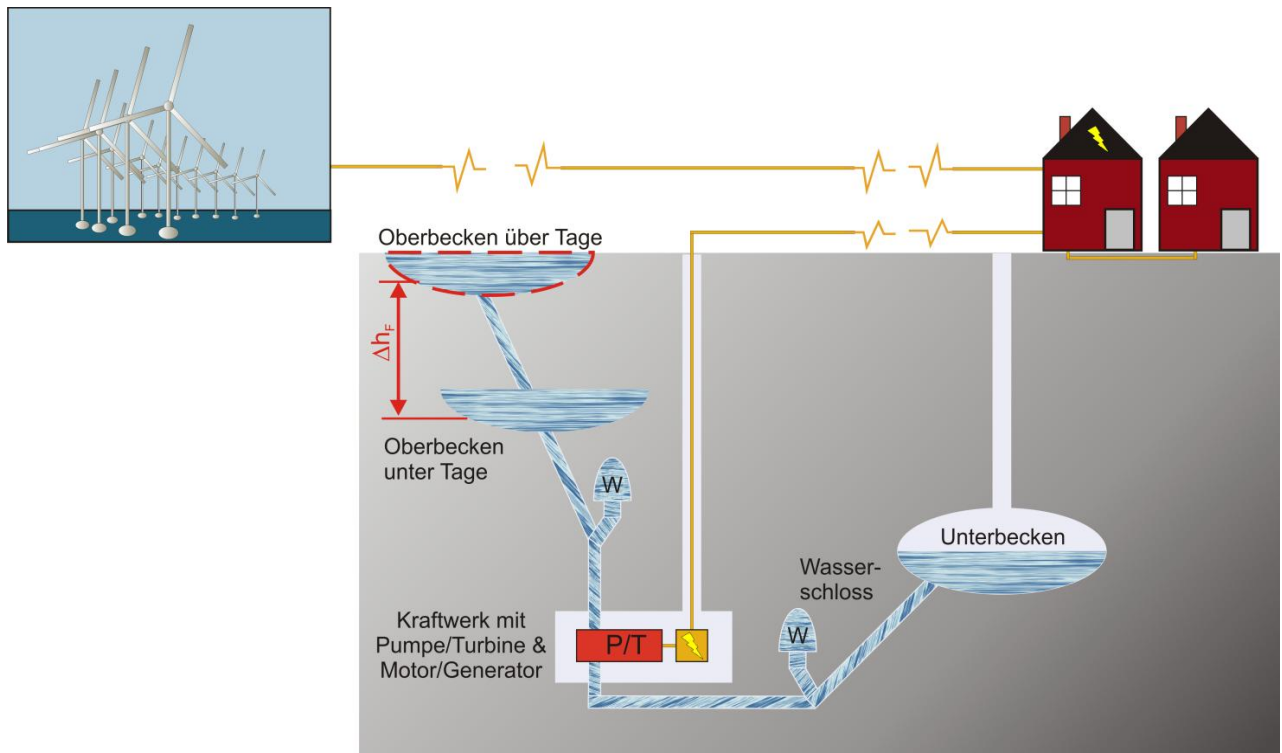
Im Rahmen der zweiten Phase der Vorgehensweise bei der Standortbetrachtung sind auch hier besondere Anforderungen betrachtet worden, die im Zusammenhang mit der Bauphase, dem Normalbetrieb des PSW sowie Revisionen stehen. Während der Bauphase sind aus maschinentechnischer Sicht auch hier der Transport der Maschinenkomponenten zum Standort und in die Maschinenkaverne von Interesse, sowie die Installation der Maschinensätze in der Kaverne. Prinzipiell gilt für den Standort Pöhla das gleiche wie für den Standort Bad Grund. Auch hier wird auf den Bericht des Teilbereichs Bergbau verwiesen, dessen Planungen sowohl den Transport der Maschinenkomponenten zum Standort als auch in die Maschinenkaverne beinhalten.

Die Aussagen aus Kapitel 5.2 hinsichtlich des größtenteils vorliegenden „Normalbetriebs“ sowie die Revisionen betreffend gelten gleichfalls für den Standort Pöhla und sollen deshalb hier nicht erneut dargelegt werden.



## 6. Hybridkraftwerk-Einfluss der Beckenanordnung

In diesem Kapitel werden Ergebnisse allgemeiner Überlegungen hinsichtlich der Auswirkungen der Wahl eines Hybridkraftwerks mit einer übertägigen Anordnung des Oberbeckens im Gegensatz zum vollständig untergägigen PSW auf den maschinentechnischen Teilbereich vorgestellt. Abbildung 6.1 illustriert in grafischer Form den Unterschied zwischen den beiden Anordnungsvarianten des Oberbeckens.

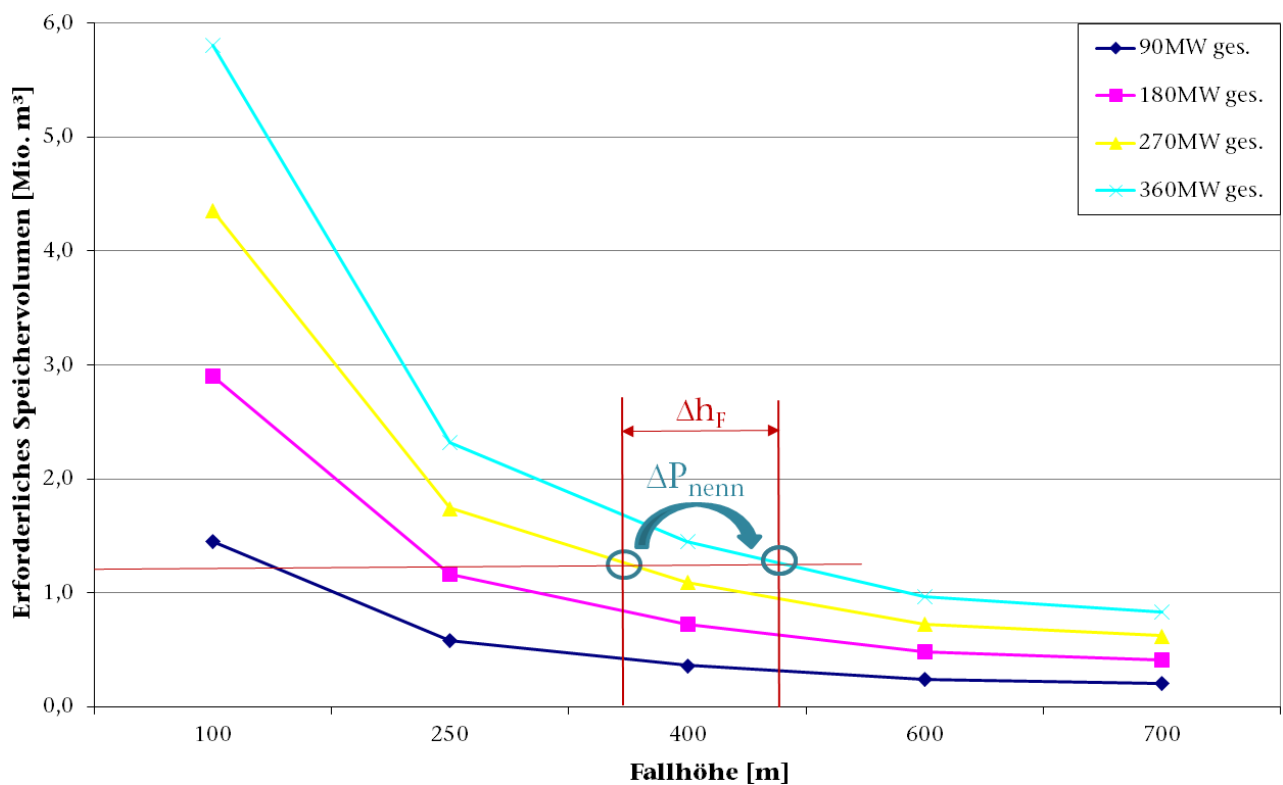


**Abbildung 6.1:** Prinzipskizze zu Unterschieden zwischen einem gänzlich untergägigen PSW sowie einem Hybridkraftwerk

Es ist erkennbar, dass der deutlichste Unterschied zwischen beiden Varianten in der verfügbaren mittleren Fallhöhe besteht. Aus einer übertägigen Anordnung des Oberbeckens resultiert ein Zuwachs der mittleren Fallhöhe um  $\Delta h$ . Aus maschinentechnischer Sicht führt dies zu drei denkbaren Szenarien:

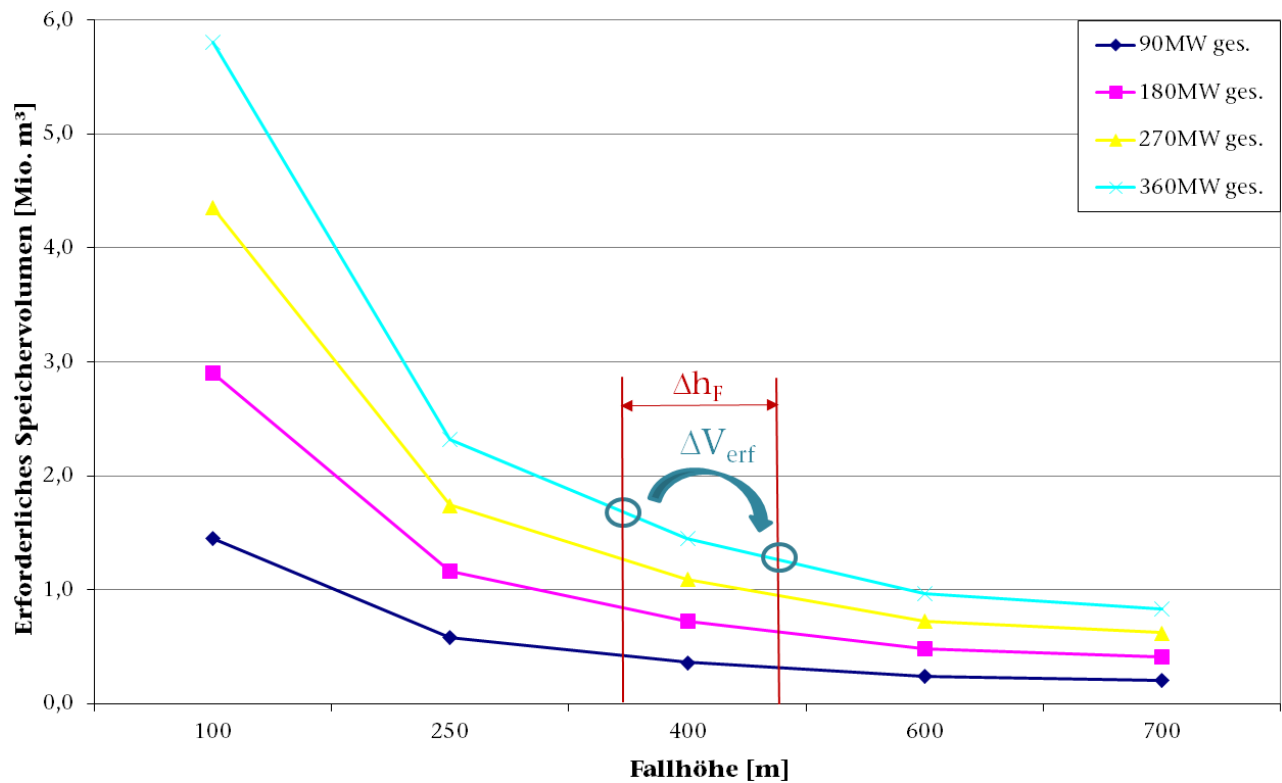


1. Bei konstant gehaltener Betriebszeit  $t_{\text{Betrieb}}$  sowie gleichem erforderlichen Speichervolumen  $V_{\text{erf}}$  des übertägigen Oberbeckens (im Vergleich zum untertägigen Oberbecken) kann durch die Fallhöhenvergrößerung um  $\Delta h_F$  schlussendlich eine Nennleistungsvergrößerung  $\Delta P_{\text{nenn}}$  des PSW erzielt werden, wie qualitativ auch Abbildung 6.2 verdeutlicht.



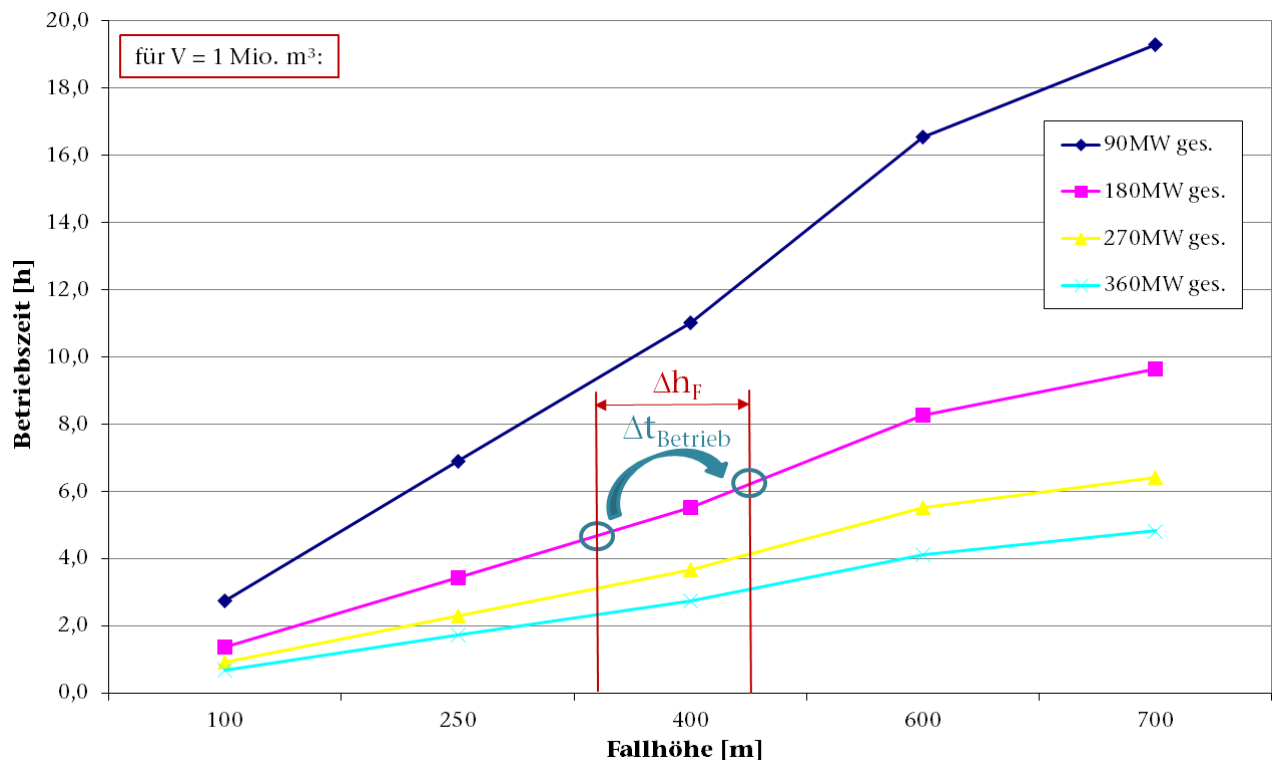
**Abbildung 6.2:** Erzielbare Nennleistungsvergrößerung  $\Delta P_{\text{nenn}}$  des PSW bei konstanter Betriebszeit  $t_{\text{Betrieb}}$  sowie verfügbarem bzw. erforderlichem Speichervolumen der Becken  $V_{\text{erf}}$  durch die Steigerung der mittleren Fallhöhe um  $\Delta h_F$

2. Eine sowohl konstant gehaltene Betriebszeit  $t_{\text{Betrieb}}$  als auch Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  des PSW führen bei einer Fallhöhenvergrößerung von  $\Delta h_F$  zu einer Verringerung des erforderlichen Speichervolumens  $\Delta V_{\text{erf}}$ , wie qualitativ auch Abbildung 6.3 zeigt.



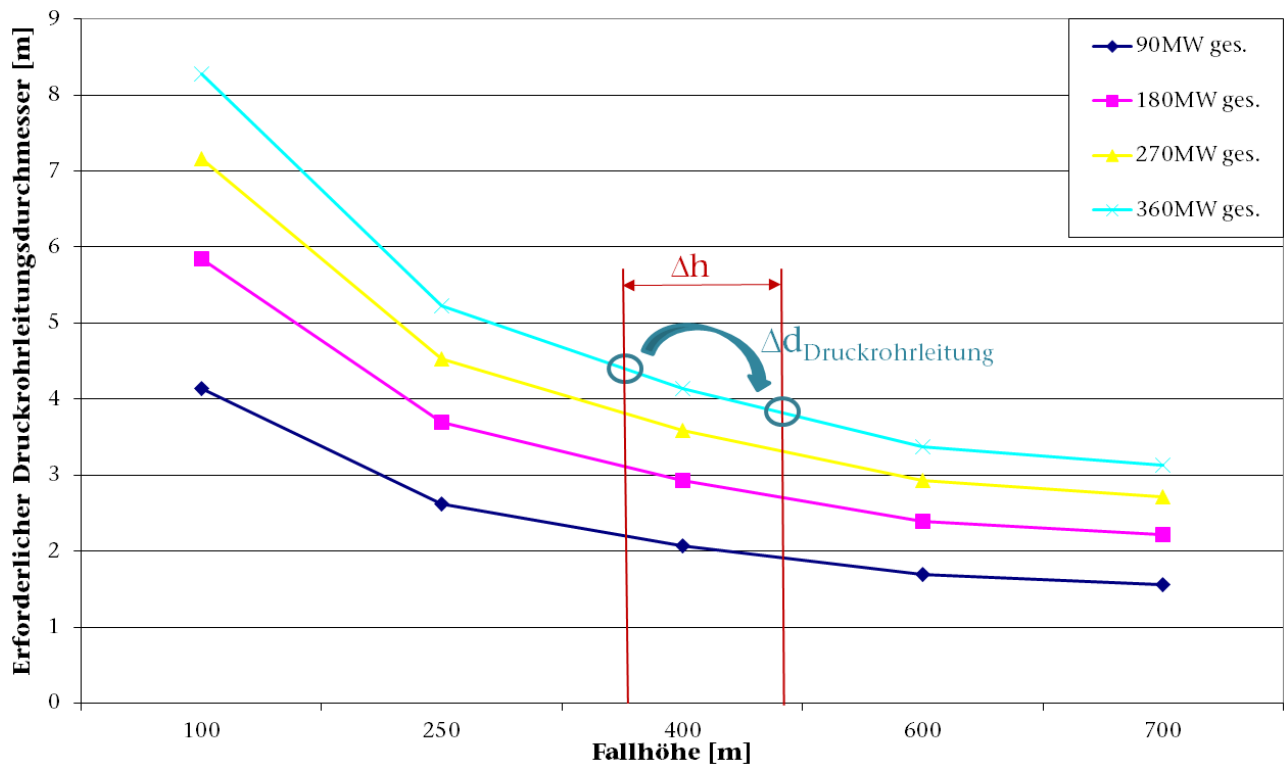
**Abbildung 6.3:** Erzielbare Reduktion des erforderlichen Beckenspeichervolumens  $\Delta V_{\text{erf}}$  bei konstanter Betriebszeit  $t_{\text{Betrieb}}$  sowie Nennleistung des PSW durch die Steigerung der mittleren Fallhöhe um  $\Delta h_F$

- Unter der Voraussetzung eines gleich bleibenden verfügbaren Speichervolumens  $V$  sowie Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  führt, wie auch Abbildung 6.4 zeigt, eine Steigerung der mittleren Fallhöhe um  $\Delta h_F$  zu einer Steigerung der Betriebszeit von  $t_{\text{Betrieb}}$ .



**Abbildung 6.4:** Erzielbare Betriebszeitsteigerung  $\Delta t_{\text{Betrieb}}$  bei gleich bleibendem vorhandenem bzw. erforderlichem Speichervolumen  $V_{\text{erf}}$  sowie jeweils konstant gehaltener Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  des PSW durch Steigerung der mittleren Fallhöhe um  $\Delta h_F$

Neben den oben benannten Punkten ist auch der erforderliche Druckrohrleitungsdurchmesser  $d_{\text{Druckrohrleitung}}$  abhängig von der mittleren Fallhöhe  $h_F$ . Unter entsprechender Berücksichtigung der Größen aus Kapitel 2 führt eine Steigerung der mittleren Fallhöhe um  $\Delta h_F$  unter Einbeziehung einer konstanten Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  sowie Fließgeschwindigkeit in der Druckrohrleitung  $v_{\text{Druckrohrleitung}}$  zu einer Reduktion des erforderlichen Druckrohrleitungsdurchmessers um  $\Delta d_{\text{Druckrohrleitung}}$ , wie auch Abbildung 6.5 zeigt.



**Abbildung 6.5:** Erzielbare Reduzierung des erforderlichen Druckrohrleitungsdurchmessers um  $\Delta d_{\text{Druckrohrleitung}}$  bei konstanter Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  des PSW durch Steigerung der mittleren Fallhöhe um  $\Delta h_F$

Aus der übertägigen Positionierung des Oberbeckens ergeben sich neben dem Vorteil einer Vergrößerung der mittleren Fallhöhe um  $\Delta h_F$  und den Effekten der drei oben beschriebenen Szenarien weitere, sowohl positive als auch negative Auswirkungen, die im Folgenden kurz genannt werden.

Zu den Vorteilen eines übertägigen Oberbeckens gehören

- die gute Zugänglichkeit des Oberbeckens beispielsweise für Revisionen
- die vorhandene Belüftung des Oberbeckens
- die Vermeidung der sonst erforderlichen untertägigen Beckenauffahrung sowie die
- Nutzung des Abraums der sonstigen Auffahrungen direkt vor Ort zum Bau des übertägigen Oberbeckens.

Demgegenüber stehen beispielsweise folgende Nachteile

- direkter Kontakt zur umgebenden Umwelt (z. B. Fische, Vögel, sonstige Tiere, Pflanzen, Erde, Gestein)
- Oberbecken ist direkt den Witterungsverhältnissen ausgesetzt, dadurch zu berücksichtigender
  - Wasserzutritt durch Regen oder Schneeschmelze
  - Wasserverlust durch Verdunstung im Sommer
- Schutz des Einlaufbauwerks, der Druckrohrleitung und der Maschinentechnik vor Geschwämsel durch Äste, Pflanzenreste, Steine, Sand und Eis erforderlich
- dadurch ggf. komplexeres Einlaufbauwerk nötig, das z. B. Rechen und einen Sandfang aufweist.

Sollte im Rahmen eines möglichen Folgeprojekts ein Hybridkraftwerk angestrebt werden, müssen die sich aus den oben benannten Fragestellungen ergebenden Aspekte näher diskutiert und Lösungen gefunden werden.

## **7. Fazit**

Im Rahmen des maschinentechnischen Teilprojektes wurde in Zusammenarbeit mit der Voith AG ein maschinentechnisches Konzept für ein untertägiges PSW unter maßgeblicher Berücksichtigung der Ergebnisse und Vorgaben aus dem Bergbau und in Absprache mit der Energiesystemtechnik entwickelt. Im Bereich der Maschinenauslegung erfolgte dazu der Vergleich mit dem Stand der Technik von realisierten PSW in Deutschland sowie die Auslegung der Gesamtanlage aus maschinentechnischer Sicht. Das allgemeine maschinentechnische Konzept sieht einen ternären Maschinensatz mit liegender Anordnung und einer Leistung je Maschinensatz von 90 MW im Turbinen- und entsprechend 100 MW im Pumpbetrieb vor. Der Maschinensatz besteht aus maschinentechnischer Sicht, wie oben beschrieben, aus einer zweistufig zweiflutigen Kreiselpumpe, einer Francis-Turbine, einem hydraulischen Wandler und einer Kupplung. Eine größere Gesamtleistung im Pump- oder Turbinenbetrieb kann, wie oben schon angeführt, durch die Nutzung mehrerer Maschinensätze erreicht werden.

Basierend auf den Informationen zu den vorhandenen Speichervolumina sowie der verfügbaren mittleren Fallhöhe  $h_F$  aus dem Bereich Bergbau sowie unter Berücksich-

tigung der Randbedingungen aus der Energiesystemtechnik kann, jeweils örtlich gebunden, eine Aussage zum maschinentechnisch realisierbaren Leistungspotenzial in Form der Nennleistung  $P_{\text{nenn}}$  des potentiellen Standortes sowie zur maximalen Betriebszeit  $t_{\text{Betrieb}}$  und den erforderlichen Druckrohrleitungsdurchmessern  $d_{\text{Druckrohrleitung}}$  gemacht werden.

Im Bereich der Betriebssimulation wurde ein Modell aufgebaut, mit dessen Hilfe die Nachbildung eines Pump- und Turbinenbetriebs des untertägigen PSW erfolgen kann. Dazu wurden zunächst durch die Voith AG die Maschinenkennlinien zur Verfügung gestellt, anschließend die Teilmodelle für die Pumpe und die Turbine modelliert und zuletzt das Gesamtmodell unter Einbeziehung des Teilmodells eines Windparks, beigesteuert vom Teilprojekt der Energiesystemtechnik, entwickelt.

Schließlich wurde das allgemeine maschinentechnische Konzept entsprechend der in Kapitel 5.1 vorgestellten Herangehensweise auf zwei potentielle Standorte in Deutschland angewandt und angepasst. Die die beiden Standorte betreffenden Ergebnisse aus dem Bereich der „Besonderen Anforderungen an die Konstruktion“ wurden vorgestellt und mit Hinblick auf die Standorte konnten jeweils Probleme und Lösungen aufgezeigt werden, die z. B. im Zusammenhang mit der Installation eines untertägigen PSW auftreten.

Ferner wurde im Rahmen der Projektaufstockung untersucht, welche Unterschiede, Auswirkungen sowie Vor- und Nachteile sich für die die Maschinentechnik selbst sowie deren Funktionserfüllung ergeben, wenn anstatt eines gänzlich untertägigen PSW ein Hybridkraftwerk angedacht wird, bei dem die Beckenkonfiguration so im Vergleich zum untertägigen PSW verändert ist, dass das Oberbecken über Tage positioniert wird. Die Ergebnisse der Überlegungen wurden in Kapitel 6 vorgestellt.

Es kann als Fazit zusammengefasst werden, dass die im Projektantrag benannten Aufgaben der Maschinenauslegung, der Simulation der Gesamtanlage aus maschinentechnischer Sicht, die Berücksichtigung besonderer Erfordernisse an die Konstruktion mit Hinblick auf zwei Modellbergwerke sowie die Anwendung und Anpassung des allgemeinen maschinentechnischen Konzepts auf die e Standorte und schließlich die die Maschinentechnik betreffende Betrachtung der Auswirkungen sowie Änderungen bei der angedachten Erstellung eines Hybridkraftwerks mit über-

tätigem Oberbecken alle abgeschlossen und deren Ergebnisse in diesem Bericht vorgestellt worden sind.

## **8. Ausblick**

Im Rahmen des durchgeführten Projekts konnten, entsprechend den Aufgaben des Teilbereichs Maschinentechnik, durch eine detailliertere Betrachtung zweier Standorte erste Ansätze sowie Probleme und potentielle Lösungsansätze für die Realisierung eines gänzlich untertägigen PSW aufgezeigt werden. Dennoch wäre ein Grad höherer Detaillierung bei der Betrachtung eines einzigen, konkreten Standorts sicherlich nicht nur aus maschinentechnischer Sicht wünschenswert, um einer ggf. zukünftigen Verwirklichung des ersten untertägigen PSW in Deutschland näher zu kommen. Überlegungen, die zum Beispiel die Wasserhaltung und -führung betreffen, könnten weiter vertieft und ausgebaut werden um Fragen, die beispielsweise die Erfordernis von Wasserschlössern im System betreffen zu klären. Weiterhin böte sich aus maschinentechnischer Sicht nicht nur die Möglichkeit, wie im Rahmen dieses Projekts geschehen, einer Anpassung eines allgemeinen maschinentechnischen Konzepts auf einen Standort sondern die der Entwicklung eines „maßgeschneidertes“ Konzept für diesen Standort. Dann könnten auch die besonderen Erfordernisse an die Konstruktion vertiefender betrachtet werden.

Das bislang durchgeführte Projekt hat gezeigt, dass einige Standorte in Deutschland nicht nur aus maschinentechnischer Sicht ein großes Potential für untertägige Pumpspeicherkraftwerke bieten. Es kann im Rahmen des Ausblicks zusammengefasst werden, dass auf dem Weg zur Umsetzung der Idee eines untertägigen PSW unter Nachnutzung eines alten Bergwerks als nächster Schritt in diese Richtung die umfassende Betrachtung eines Standortes wünschenswert wäre, um z. B. die oben angeführten Fragen klären zu können.



## **Literaturverzeichnis**

- [SCH11] Homepage der Schluchseewerk AG; <http://www.schluchseewerk.de>
- [GIE05] Giesecke, J.; Mosonyi, E.: Wasserkraftanlagen Planung, Bau und Betrieb, 4. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2005
- [SAT00] Sattler, K.; Kasper, E.: Verfahrenstechnische Anlagen, Band 1, 1. Auflage, Wiley-VCH, 2000
- [VOI11] Homepage der Firma Voith Hydro; <http://www.voithhydro.com>

*E.-A. Wehrmann, A. Mbuy, S. Nakhaie*

## ***Energiesystemtechnische Aspekte***



*Foto: EFZN / M. Schmidt*

# **Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke**

**Berichtsteil: Institut für Elektrische Energietechnik (IEE)**

**Version 1**

**Goslar, 31. März 2011**

Institut für Elektrische Energietechnik  
Leibnizstraße 28  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon: +49 5323 72 2299  
Telefax: +49 5323 72 2104  
<http://www.iee.tu-clausthal.de>

**Wissenschaftliche Leitung des Berichtsteils**

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck

Dr. Ing. Ernst-August Wehrmann  
Institut für Elektrische Energietechnik

**Bearbeiter**

Dr.-Ing. Aimé Mbuy

Dipl.-Ing. Soroush Nakhaie

Institut für Elektrische Energietechnik, TU Clausthal

**Ansprechpartner bei Rückfragen**

Dr.-Ing. Aimé Mbuy

Institut für Elektrische Energietechnik

Telefon: +49 5323 72 3702

Telefax: +49 5323 72 2104

[mbuy@iee.tu-clausthal.de](mailto:mbuy@iee.tu-clausthal.de)

Dipl.-Ing. Soroush Nakhaie

Institut für Elektrische Energietechnik

Telefon: +49 5323 72 2572

Telefax: +49 5323 72 2104

[Soroush.nakhaie@tu-clausthal.de](mailto:Soroush.nakhaie@tu-clausthal.de)

## **Kurzfassung**

Im Rahmen dieser Studie wurden die energiesystemtechnischen Rahmenbedingungen zur Netzintegration erneuerbarer Energien untersucht, speziell am Beispiel der Kopplung zwischen (Offshore-) Windkraftanlagen und unterirdischen Pumpspeicherwerken über das öffentliche Energieversorgungsnetz. Diese Kopplung wird anhand eines Energiemanagementsystems konzipiert, bei dem verschiedene Kopplungsmöglichkeiten energietechnisch simuliert und untersucht werden. Dabei wurde auch gemeinsam mit dem Institut für Wirtschaftswissenschaft eine ökonomische Bewertung einbezogen.

Anhand von Daten zu Netzengpässen und Studien zur weiteren Entwicklung des öffentlichen Energieversorgungsnetzes wurden Kriterien zur Einschränkung der Suche nach geeigneten Standorten für untertägige Pumpspeicherwerke entworfen und mit den Ergebnissen der anderen Projektpartner abgestimmt. Nach Auswahl der Standorte wurden anhand der Auslegungs- und Standortdaten unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Rahmendaten die erreichbaren Leistungs- und Energiedaten ermittelt.

Mit Hinblick auf den Bau einer möglichen Pilotanlage wurde unter Berücksichtigung der Randbedingungen für zwei der hier näher untersuchten Standorte ein erstes energiesystemtechnisches Konzept entworfen. Für die Realisierung einer Pilotanlage ist eine detaillierte Weiterentwicklung und Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten notwendig.

## **Über die Autoren**

### **Dr.-Ing. Ernest-August Wehrmann**

(Jahrgang 1953), Studium der Elektrischen Energietechnik an der Universität Hannover  
Promotion auf dem Gebiet der elektrischen Antriebe am Institut für Elektrische Energietechnik (IEE) der TU Clausthal, Leiter der Arbeitsgruppe Dezentrale Energiesysteme am IEE  
Forschungsschwerpunkt: Effiziente Einbindung regenerativ und / oder dezentral "erzeugter" Energie in das bestehende Energieversorgungssystem

- Virtuelle Kraftwerke
- Dezentrales Energiemanagement System (DEMS)
- Energiepark Clausthal: Laborsystem zur Versorgung des Gebäudekomplexes des Clausthaler Umwelttechnik-Institutes mit dezentral erzeugter elektrischer und thermischer Energie
- Berechnungsmethoden von elektrischen und Gas-Versorgungsnetzen bei unvollständig bekannten Lasten

### **Dr.-Ing. Aime Mbuy**

(Jahrgang 1968), Studium der Elektrotechnik an der Universität Kinshasa (D.R. Kongo);  
Promotion auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Kommunikation und des elektrischen Energiemanagements am Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik der TU Clausthal. Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Habilitand am Institut für Elektrische Energietechnik (Arbeitsgruppe Dezentrale Energiesysteme). Forschungsschwerpunkte: Dezentrales Energiemanagement System (DEMS), Prozesssimulationen mit ergonomischen Visualisierungen.

### **Dipl.-Ing. Soroush Nakhaie**

(Jahrgang 1983), Studium des Maschinenbaus mit der Vertiefung Energietechnik an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, seit 1.5.2010 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IEE in der Arbeitsgruppe Dezentrale Energiesysteme. Forschungsschwerpunkt: Integration der Erneuerbaren Energien

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Kurzfassung</b>	<b>338</b>
<b>Über die Autoren</b>	<b>339</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>340</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>343</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen</b>	<b>344</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>347</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>351</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>352</b>
<b>2. Energiesystemtechnische Rahmenbedingungen zur Netzintegration erneuerbarer Energien</b>	<b>353</b>
2.1 Wetterprognoseverfahren	354
2.1.1 Deterministische Verfahren (Modellbasiertes Prognose)	356
2.1.2 Statistische Verfahren	356
2.1.3 Persistenz Prognose	356
2.1.4 Künstliche Neuronale Netze (KNN)	357
2.1.5 Autoregressive Integrierte Moving-Average-Verfahren: ARIMA	359
2.1.6 Beispiel der Verwendung von Wettervorhersage für die Windleistungsprognose	360
2.2 Lastmanagementsystem	363
2.2.1 Lastmanagement mittels Peak Clipping	363
2.2.2 Lastmanagement mittels Valley Filling	369
2.2.3 Lastmanagement mittels Load Shifting	369
2.2.4 Güte des Lastmanagements durch Indizien aus Ähnlichkeitsmaßen [DSM 50-56]	370
2.3 Speichertechnologien	371



2.3.1 Pumpspeicherwerk	372
2.3.2 Druckluftspeicher	372
2.3.3 Weitere Großspeicher	373
2.3.4 Methanisierung	373
2.3.5 Zusammenfassung	373
2.4 Technische Anforderungen für Speichereinsatzbereiche	374
2.4.1 Systemdienstleistung	374
2.4.2 Lastausgleich / Stromveredelung	377
2.5 Transport über das öffentliche Energieversorgungssystem	378
<b>3. Energiemanagementsystem</b>	<b>381</b>
3.1 Ausbauperspektiven für Erneuerbare Energien	386
3.2 Konzeption des Managementsystems	388
3.3 Offshore Windpark	391
3.3.1 Beschreibung der Simulation	391
3.3.2 Ergebnis der Simulation	400
3.4 Reduktion der Leistungsänderungsgeschwindigkeit durch „Peak Shave“	403
3.5 Weitere Untersuchungen durch die Simulation „Windpark / Pumpspeicherkraftwerk“	405
<b>4. Analyse der energiesystemtechnischen Standortkriterien des Modellbergwerks I</b>	<b>407</b>
4.1 Übertägige Komponenten	410
4.1.1 Hauptanschlussvariante: Teilverkabelung	412
4.1.2 Hauptanschlussvariante: Vollständige Verkabelung	414
4.1.3 Übertägiger Eigenbedarfsanschluss	414
4.2 Untertägige Komponenten	416
4.3 Kabelableitung	419

4.3.1 Variante: ein separater Kabelschacht	420
4.3.2 Variante: Gemeinsame Nutzung des Hauptschachts	420
4.3.3 Variante: Mittelspannungskabel	421
4.4 Elektromagnetische Strahlung	422
4.5 Kabelkühlung	425
4.6 Kabelinstallation	430
<b>5. Analyse der energiesystemtechnischen Standortkriterien des Modellbergwerks II</b>	<b>432</b>
5.1 Übertägige Komponenten	434
5.2 Untertägige Komponenten	435
5.3 Kabelableitung	435
5.4 Elektromagnetische Strahlung	436
5.5 Kabelkühlung	436
5.6 Kabelinstallation	437
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>437</b>
<b>Literatur</b>	<b>440</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ARIMA	Autoregressive integriert moving average models
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
CAES	Compressed Air Energy Storage
DWD	Deutschen Wetterdienstes
EEX	European Energy Exchange, Leipzig
EMS	Energiemanagementsystem
ENTSOE	European network of transmission system operators for electricity
EPEX	European Power Exchange Spot, Paris
EVU	Energieversorgungsunternehmen
IBB	Institut für Bergbau, TU Clausthal
IfW	Institut für Wirtschaftswissenschaft, TU Clausthal
IMW	Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal
KLIMM	Klima Modell Mainz
KNN	Künstliche Neuronale Netze
POGAL	Prognose und Optimierung in der Gas-Leittechnik
PSW	Pumpspeicherwerk
PSWuT	Pumpspeicherwerk unter Tage
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
WEA	Windenergieanlage

## Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen

$\%ES$	Excess supply
$\%SA$	Normierte Schnittmenge
$A$	Kanalquerschnitt
$A_{Rotor}$	Rotorfläche
$B$	Magnetische Flussdichte
$CC$	Spearman's Rangkorrelationskoeffizient
$C_p$	Leistungsbeiwert
$c_p$	isobare Wärmekapazität der Luft
$D(t)$	Nachfrageprofil
$\Delta E$	Ungenutzte erhältliche Energie
$E_A$	Aktueller Kurs der Energie
$E_N$	Nennkurs der Energie
$E_{pot}$	Potentielle Energie
$g$	Gravitationsbeschleunigung
$h$	Fallhöhe
$I$	Elektrischer Strom
$IC$	Inequality Coefficient
$J_R$	Massenträgheitsmoment
$L_S$	Leistungsfluss
$L_{S1}$	Leistungsfluss Gruppe 1
$L_{S2}$	Leistungsfluss Gruppe 2
$L_{RECON}$	Wiederzuschaltbare Leistung
$LS$	least-squares method
$\dot{m}$	Wassermassenstrom
$mHz$	Millihertz

$M_{Rot}$	Rotormoment
$n$	Zeitabschnitt
$n_R$	Drehzahl
$P_C$	Angeschlossene Leistung (abhängig vom Prozess)
$P_d$	Abschalten von Leistung (infolge des Prozesses)
$P_{el}$	Elektrische Leistung
$P_{nenn}$	Nennleistung
$P_{Rot}$	Rotorleistung
$P_{Wärmeverlust}$	Wärmeverlust eines Stromkabels
$P_{Wind}$	mechanische Rotorleistung
$\dot{Q}_{zu}$	Zugeführte Wärme
$R$	Ohmscher Widerstand
$\Delta t$	Verzögerungszeit
$\Delta t_b$	Sperrzeit
$SA$	Shared Area
$S(t)$	Angebotsprofil
$T_{Eintritt}$	Eintrittstemperatur
$T_{Austritt}$	Austrittstemperatur
$u$	Luftgeschwindigkeit x-Richtung
$v$	Luftgeschwindigkeit y-Richtung
$V$	Speichervolumen
$\dot{V}$	Luftvolumenstrom
$v_{Wind}$	Windgeschwindigkeit
$\omega_{Rot}$	Winkelgeschwindigkeit
$\mu T$	Mikrotesla
$\mu_0$	magnetische Feldkonstante

$\mu_r$	Luft
$\rho$	Dichte
$\rho_{Luft}$	Luftdichte
$\lambda$	Schnelllaufzahl
$\theta$	Blatteinstellwinkel
$\eta_{Pumpe,turbine}$	Pumpe- bzw. Turbinenwirkungsgrad

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklung der Erzeugung und Last bei Schwachlast und Starkwind bis 2020 /3/ .....	352
Abbildung 2-1: Beispielhafte Darstellung der Leistungskennlinie (oder Leistungskurve) einer Windkraftanlage /35/ .....	355
Abbildung 2-2: Prozess der Persistenz Prognose /37/ .....	356
Abbildung 2-3: Darstellung zweier Neuronen und Ihre Vernetzung.....	357
Abbildung 2-4: Schema eines künstlichen Neurons .....	358
Abbildung 2-5: An repräsentativen Standorten werden mit DWD-Prognosen und aktuellen Messdaten Windleistungsprognosen erstellt, die dann mit dem Transformationsalgorithmus des Online-Modells auf Summenleistung hochgerechnet werden. Das erste Modul des Prognosemodells nutzt die DWD-Prognose, um für repräsentative Standorte mit Hilfe von KNN Windleistungsprognosen für den Folgetag zu erstellen. Das Modul II nutzt neben den Leistungsprognosen des Moduls I auch die aktuelle Leistungsmessung des repräsentativen Standortes, um mit Hilfe von KNN Kurzzeitprognosen (3-6 Stunden) zu erstellen./40/ .....	362
Abbildung 2-6: Viertelstunden-Leistung mit Abschaltgerade /42/ .....	365
Abbildung 2-7: Lastmanagement mit Soll-/Istwert Vergleich Entlang eines Nennkurses für die Energie (EN), der nach 15 Minuten den festgelegten Energie-Sollwert erreicht, wird ein aktueller Kurs der Energie (EA) angelehnt, um den Energie-Sollwert so genau als möglich zu erreichen, ohne ihn je zu überschreiten. Solange der Nennkurs für die Energie nicht überschritten wird, können Lasten zugeschaltet werden (Punkt PC). Wenn aber der Nennkurs für die Energie überschritten wurde, dann erfolgt nach einer bestimmten Verzögerungszeit ( $\Delta t$ ) die Abschaltung von Lasten, um die Überschreitung aufzuheben. Einmal abgeworfene Lasten werden aber nicht mehr zugeschaltet, weshalb am Ende der 15 Minuten nicht die ganze verfügbare Energie verbraucht wurde. Die nicht verbrauchte Energie ist mit $\Delta E$ bezeichnet.....	366
Abbildung 2-8: : Lastmanagement mit Sperrzeit (Ohne Wiederschaltung der Leistung) .....	367



Abbildung 2-9: Lastmanagement mit Sperrzeit (inkl. Wiederschaltung der Leistung)	368
Abbildung 2-10: Lastmanagement mit Sperrzeit und Trendberechnung.....	369
Abbildung 2-11: Ein Angebotsvergleich .....	371
Abbildung 2-12: Möglichkeiten zur Speicherung von elektrischer Energie. (Quelle A. Mbuy nach /2/) .....	372
Abbildung 2-13: Regionenbild Deutschland, Regionenbezeichnung nach ENTSO-E /16/ zusammen mit der Eignungsuntersuchung der Bergbauregionen für untertägiges Pumpspeicherwerk (Quelle: IBB, Jarrah).....	379
Abbildung 2-14: Regionenbilanz (Maximum, Minimum und Mittelwert je Region, Regionen nach Abbildung 2-13) /16/ .....	380
Abbildung 2-15: Nichtübertragbare Leistungen zwischen den Regionen, Regionengrenzen mit nicht übertragbaren Leistungen /16/ .....	381
Abbildung 3-1: Schematische Darstellung des Energiemanagements nach /30/ .....	383
Abbildung 3-2: Informationsfluss in einem Energiemanagementsystem /31/ .....	384
Abbildung 3-3: Stufen der Betriebsplanung von Energieversorgungssystemen /33/ .....	385
Abbildung 3-4: Abgrenzung Speicher/Speichersystem /34/ .....	386
Abbildung 3-5: Entwicklung der installierten Windenergieleistung in Deutschland bis zum Jahr 2020 in GW /16/ .....	387
Abbildung 3-6: Lastdauerlinie Jahr en 2007 und 2009 aus Archivdaten der ENTSO <sup>3</sup> .....	389
Abbildung 3-7: Jährliche Leistungsdaten vom Onshore Windpark und entsprechende Dauerlinie die im Szenario verwendet wurden. Sie sind Daten aus dem Jahr 2009 auf 37 GW hoch skaliert. ....	390
Abbildung 3-8: Schematische Darstellung des Szenarios: Die Eingangsdaten kommen aus Datenbanken. Einige Daten wurden nach Annahmen des Szenarios skaliert. Durch die offshore Windpark Simulation wurden die nicht vorhandenen Offshore-Winddaten erzeugt. Nach der Ausführung des Szenarios wurden die Last- und Residuallastdauerlinien generiert. Das Ergebnis stellt die Nachbildung einer möglichen zukünftigen Änderung der Kraftwerkeinsätze dar. ....	390
Abbildung 3-9: Verwendetes Simulink-Modell. Ein Teil des vollständigen Modells: Dargestellt ist die Simulation von sechs Anlagen. ....	393
Abbildung 3-10: Angenommene Strömungsverhältnisse mit Vorzugswindrichtung und für die Simulation notwendige Abstandsangaben .....	394

Abbildung 3-11: Prinzipieller Einfluss der Windrichtung auf die berechneten Laufzeitunterschiede .....	395
Abbildung 3-12: Subsystem aus Abbildung 3-9: Simulationsmodell der Windkraftanlage WEA3_1.....	396
Abbildung 3-13: Subsystem aus Abbildung 3-12 zur Bestimmung der mechanischen Leistung.....	398
Abbildung 3-14: Subsystem aus Abbildung 3-13: Simulink-Modell zur $C_p$ -Berechnung	399
Abbildung 3-15: Subsystem aus Abbildung 3-14 zur Berechnung der Hilfsvariablen $1/\Lambda$	400
Abbildung 3-16: Simulierte Leistung aus offshore Windpark (b) mit Hilfe der Winddaten aus FINO-1 im Jahr 2009 (a). Die simulierten geregelten Windparks liefern insgesamt 14 GW als maximale Leistung. Die Berechnung wurde für das ganze Jahr durchgeführt, aber aus Darstellungsgründen sind die Werte auf (a) und (b) bis 750 h begrenzt. (c) ist die Jahresdauerlinie aus der Simulation. ....	401
Abbildung 3-17: Die betrachteten Lastdaten für die 2020 Energieversorgungssimulation kommen aus Lastdaten des Jahres 2009 abzüglich 10 % Verbrauchsreduktion. Die Residuallast ergibt sich aus der Differenz zwischen Leistungsdaten aus On- und Offshore Windparks. Die Leistungsdaten von Onshore Windpark sind die archivierten Daten (2009) des BDEW. Die Daten von Offshore Windpark wurden simuliert. .....	402
Abbildung 3-18: Auszug aus Messdaten der Harzenergie zur Analyse von Leistungen und Leistungsänderung an einer Windenergieanlage mit einer Leistung von 150 kW .....	404
Abbildung 3-19: Simulationsergebnis bei Einsatz eines Speichers zur Reduktion der Leistungsänderungsgeschwindigkeit und Begrenzung der maximalen Leistung.....	405
Abbildung 3-20: Gesamte Simulation: Integration von Windenergie in Kombination mit Pumpspeicherwerk unter Tage .....	406
Abbildung 4-1: Lage des ehemaligen Erzbergwerks Grund.....	408
Abbildung 4-2: Überschlägige Wirkungsgrade und Verluste einer Pumpspeicheranlage /17/.....	409
Abbildung 4-3: Künette eines 110-kV-Kabels in Dreieckverlegung /45/ .....	412

Abbildung 4-4: Teilverkabelung (Landkartequelle: IGMC) .....	413
Abbildung 4-5: Erdkabelvariante (Landkartequelle: IGMC) .....	414
Abbildung 4-6: Untertätige Kaverne .....	416
Abbildung 4-7: Schematische Darstellung der Stromnetze .....	417
Abbildung 4-8: Kabelausleitung der Pumpspeicherwerke Säckingen und Goldisthal /20/,/21/ .....	419
Abbildung 4-9: Schematische Darstellung der Abschottung des Hochspannungskabelbereichs.....	421
Abbildung 4-10: Magnetische Flussdichte einzelner Kabel .....	423
Abbildung 4-11: Magnetische Felder in Abhängigkeit für die Varianten a=70mm und a=500mm .....	424
Abbildung 4-12: Resultierende magnetische Flussdichte um das 110kV Kabelsystem (a=500 mm).....	425
Abbildung 4-13: Beispielhafte Dimensionierung eines Kabelkanals .....	426
Abbildung 4-14: Temperaturprofile des Kabelkanals über 7m: .....	429
Abbildung 4-15: Temperaturbildung über 7m (Quelle: IBB, Agasty) .....	430
Abbildung 5-1: Lage des Erzbergwerks Pöhla (Quelle: IGMC) .....	433
Abbildung 5-2: Schutzgebiete in Pöhla (Quelle: IGMC) .....	435
Abbildung 5-3: Kabel-Freileitungskombination für das Modellbergwerk Pöhla (Landkartequelle: IGMC) .....	436
Abbildung 5-4: Kabelschacht des zweiten Modellbergwerkes (im Rot) (Quelle: IBB, Jarrah) .....	437

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 4-1: Netzanschluss bei Wasserkraftwerken mit vergleichbarer Anlagenleistung	410
Tabelle 4-2: Wesentlicher Eigenbedarf (Quelle: IBB, Jarrah).....	416

## 1. Einleitung

Bis zum Jahr 2020 soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch in der Europäischen Union auf mindestens 20 Prozent erhöht werden. Aus diesem Grund werden regenerative Energien besonders gefördert. Die Windenergie besitzt mittelfristig das größte Potential, um den Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch zu erhöhen. Daher spielt eine effiziente Integration von Windenergieleistungen an Land und auf See in das elektrische Verbundsystem für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien eine besonders wichtige Rolle. Allerdings ergibt sich durch den starken Ausbau der Windenergieanlagen im elektrischen Verbundsystem und die altersbedingte Abschaltung einiger konventioneller Kraftwerke (alte Steinkohlekraftwerke) ein Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Last. Nach der Prognose der dena Netzstudie von 2005 kann der Unterschied zwischen Erzeugung und Last bei Starkwind und Schwachlast einen Leistungsüberschuss **von 9,1 GW in 2015** erreichen /3/ (s. Abbildung 1-1). Von daher nehmen die Leistungsschwankungen im Netz aufgrund des steigenden Anteils der wetterabhängigen Erzeugung zu.

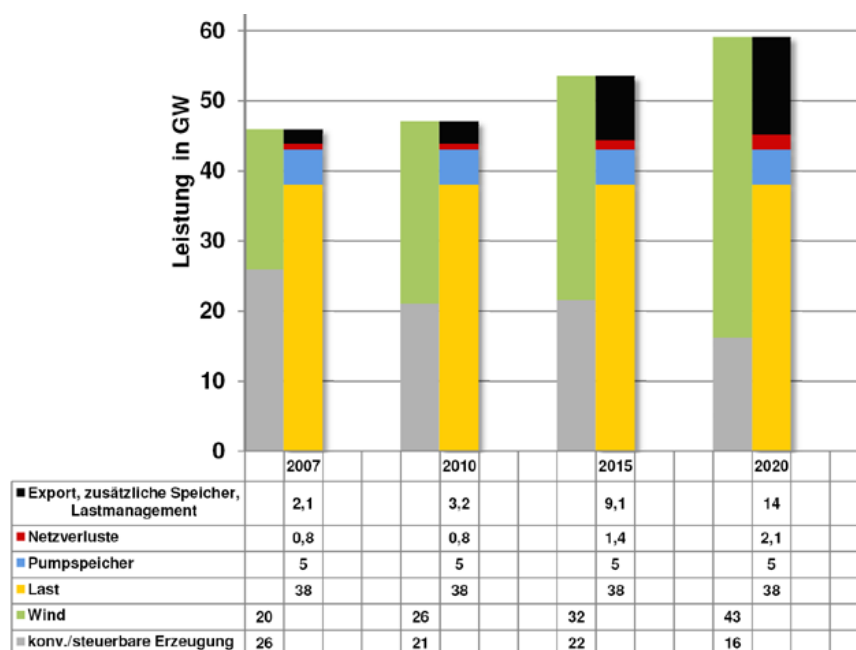


Abbildung 1-1: Entwicklung der Erzeugung und Last bei Schwachlast und Starkwind bis 2020 /3/  
Aus diesem Grund wird der Bedarf an Lastausgleich und Regelenergie zum Ausgleich unvorhergesehener Schwankungen weiter wachsen. Die fossil befeuerten Kraftwerke und die (Pump-) Speicherkraftwerke erfüllen heutzutage diese Aufgabe. Die Netzintegration weiterer Windenergie erfordert allerdings zunehmend Flexibilität und Speicherkapazität des

Versorgungssystems. Die „intelligente“ Kopplung verschiedener erneuerbarer Energieträger und Speichieranlagen bietet die Möglichkeit, anhand optimaler Einsatzplanung den minimalen Bedarf an Abruf fossiler Kraftwerke, wie Gasturbinen, zu erreichen und damit als ein eigenständiges virtuelles Kraftwerk im Versorgungssystem zu agieren. Hierzu werden ein effizientes Lastmanagement und die Einspeisung durch dezentrale Anlagen benötigt. Sie stellen die Regelenenergie auch regional im näheren Umfeld der Einspeisungsschwankung bereit und gleichen die Fluktuation der Einspeisung aus. Zusätzlich ist der Einsatz von Speichieranlagen im Rahmen eines umfassenden Modernisierungsprozesses zu berücksichtigen. Im Folgenden wird zunächst auf systemtechnische und wirtschaftliche Rahmenbedingung für virtuelle Kraftwerke eingegangen. Aufbauend darauf wird das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konzipierte Managementsystem zur Darstellung der oben genannten intelligenten Kopplung vorgestellt. Abschließend werden die standortspezifischen Energiesystemtechnischen Rahmenbedingungen für die beiden Modellbergwerke näher betrachtet.

## **2. Energiesystemtechnische Rahmenbedingungen zur Netzintegration erneuerbarer Energien**

Die effektive Integration fluktuierender Einspeisung in das elektrische Netz wird mit weiteren helfenden technischen und wirtschaftlichen Mechanismen begleitet, beispielsweise /2/:

- deutlich verbesserte Prognoseverfahren für die Einspeisung von Windenergie,
- eine wachsende Zahl von Windenergieanlagen mit modernen Regelstrategien;
- eine optimierte Ausnutzung der Netzinfrastruktur, etwa durch Freileitungsmonitoring;
- eine verstärkte Einbindung des Lastmanagements;
- ein internationaler Stromtransfer, der Ausgleichseffekte und Puffermöglichkeiten erhöht
- und weitere Maßnahmen wie die Flexibilisierung von Fahrplanmeldungen

Neben dem Ausgleich fluktuierender Einspeisung ist der Einsatz von Speichieranlagen für die Entwicklung des Großhandelsmarktes, die Planung zukünftiger Kraftwerksstandorte und den Ausbau des deutschen Verbundnetzes von großer Bedeutung. Gleichzeitig werden die Anforderungen an die Verbundnetze durch die zunehmende Diskrepanz zwi-

schen Kraftwerksstandorten und Verbrauchsschwerpunkten weiter erhöht und zusätzliche Transportkapazitäten benötigt.

## **2.1 Wetterprognoseverfahren**

Die hohen Schwankungen der Leistungsabgabe von Windenergieanlagen werden immer mehr Probleme für die konventionelle Kraftwerkseinsatzplanung der Energieversorger verursachen. Deswegen benötigt eine optimierte Integration der Windenergie ins gesamte Energieversorgungssystem u.a. ein vertrauliches Wettervorhersagen. Deshalb ist die Weiterentwicklung der effizienten Wetterprognoseverfahren eine wichtige „Baustelle“, um die Windenergiequalität trotz der unkalkulierbaren Schwankungen von Windenergie zu verbessern.

Natürliche Schwankungen prägen die Windgeschwindigkeit, und damit das Windenergieangebot sehr stark. Diese erstrecken sich vom Subsekundenbereich, in dem die Turbulenz diese Schwankungen dominiert, bis hin zum langfristigen Wettergeschehen, das Schwankungen bis über mehrere Jahre verursacht.

Bei der Stromerzeugung aus der Windenergie werden Schwankungen im Sekundenbereich durch die Rotorfläche und Massenträgheit des Rotors und der geregelten Komponenten geglättet. Aber die Schwankungen der Leistungsabgabe erst im Minutenbereich sind schon bemerkbar. Mit der Hilfe einer Modell-Leistungskennlinie kann die Sensitivität einer Windkraftanlage berechnet werden. Die Fluktuationen der Windgeschwindigkeit werden durch das Verhalten von Windkraftanlagen verstärkt. Bei Erreichung der Nennleistung werden sie gedämpft (siehe Abbildung 2-1). In Abbildung 2-1 ist die Leistungskennlinie (oder Leistungskurve) einer Windkraftanlage als Beispiel gegeben. Sie ist die abgegebene Leistung als Funktion der Windgeschwindigkeit. Durch sie wird die Abhängigkeit der vom Generator abgegebenen mittleren elektrischen Leistung von der Windgeschwindigkeit und damit das Betriebsverhalten eines typischen Windenergiekonverters beschrieben.

Hier wird deutlich gesehen, dass eine genaue Wetterprognose, die die Windgeschwindigkeit in einer bestimmten Richtung liefert, bietet gleichzeitig eine genaue Vorhersage über die Windleistungsabgabe.



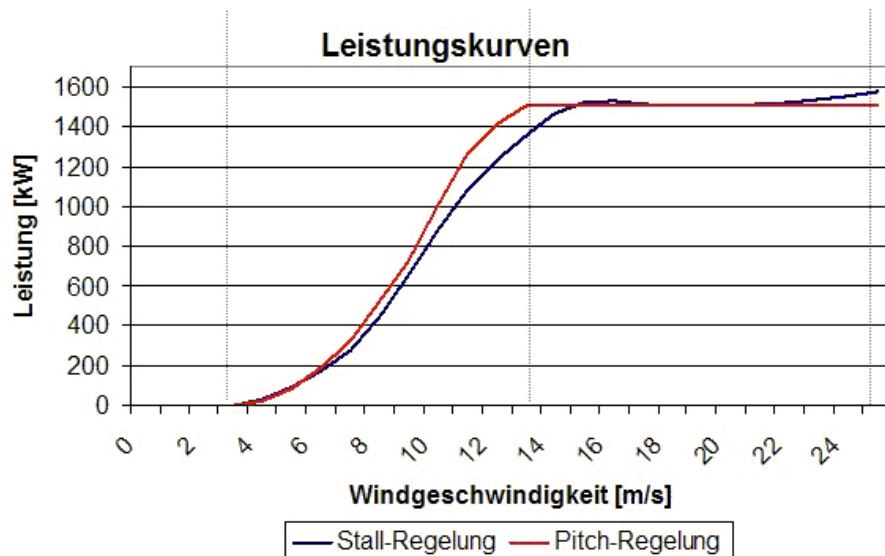


Abbildung 2-1: Beispielhafte Darstellung der Leistungskennlinie (oder Leistungskurve) einer Windkraftanlage /35/

Die Prognose von Zeitreihendaten ist noch heute ein brennendes Thema und erweckt im Rahmen des Ausbaus der Erneuerbaren Energien immer zunehmendes Interesse. Diese Art des Prognoseverfahrens wird mit Erfolg im Bereich der Wirtschaft, Hydrologie und Meteorologie verwendet. Das Ziel einer Zeitreihenprognose liegt daran, mit der Ausnutzung von Daten aus Vergangenheit die statischen Eigenschaften und die empirischen Regelmäßigkeiten einer Serie zu erkennen. Mit diesen Eigenschaften kann das künftige Verhalten vorhergesagt werden.

Für die Wetterprognose wurden verschiedenen Prognoseverfahren zur Erstellung der Zeitreihe entwickelt. Obwohl das volle Problem inhärent mehrdimensional ist, können einige Wetterphänomene erst als eindimensionale Zeitreihe untersucht werden.

Viele Zeitreihen bestehen aus einem langfristigen saisonalen Trend, der periodisch überlagert wird. Zusätzlich werden die zufälligen Komponenten mit z.B. einem Gewichtsfaktor berücksichtigt. Die Hauptschwierigkeit der Zeitreihenanalyse liegt an der Vorhersage der stochastischen Komponente, die nach der Entfernung der deterministischen saisonalen und periodischen Komponenten bleiben.

Prognoseverfahren zur Erstellung der Zeitreihe können in zwei Kategorien klassifiziert werden:

### 2.1.1 Deterministische Verfahren (Modellbasiertes Prognose)

Dabei ist immer ein identisches Verhalten des zu prognostizierten Prozesses zu erwarten, wenn von den gleichen Voraussetzungen ausgegangen wird.

### 2.1.2 Statistische Verfahren

Einer der wichtigsten Grundsätze der statistischen Prognose ist der Systemgedanke, d.h. der zur Prognose führende Prozess und sein Ergebnis müssen ein einheitliches System darstellen, das sich durch die Einheit von miteinander verknüpften endogenen und exogenen Elementen auszeichnet, die wiederum einem gemeinsamen Ziel, einer gemeinsamer Zweckbestimmung und funktionsweise verpflichtet sind /38/.

Die folgende Liste gibt einen Überblick über die am häufigsten angewandten Methoden zur Wettervorhersage von Zeitreihe:

- Lineare Regression
- Persistenz Prognose
- Autoregressive integriert moving average models (ARIMA)
- Kalman-Filterung
- Künstliche Neuronale Netze (KNN)

Hier wird eine kurze Beschreibung einiger Methoden (Persistenzprognose, ARIMA und KNN) gegeben.

### 2.1.3 Persistenz Prognose

Es wird angenommen, dass sich das betrachtete System für den nächsten Zeitraum genauso wie im letzten vergangenen Zeitraum verhält. Die Abbildung 2-2 zeigt ein Prozess der Persistenz Prognose: Der Messwert von einem Tag wird als Prognosewert für den kommenden Tag erfasst. Dieses Verfahren als ganze einfache Lösung wird für kurzfristige Prognosen angewendet. Dieses Verfahren passt selten an allgemeine stochastische Systeme.

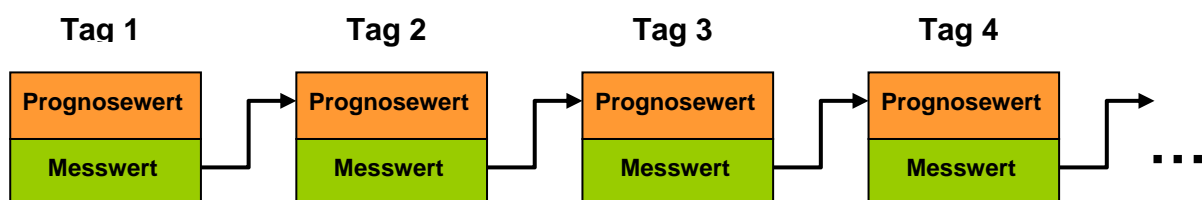


Abbildung 2-2: Prozess der Persistenz Prognose /37/

### 2.1.4 Künstliche Neuronale Netze (KNN)

Bei Künstlichen Neuronalen Netzen handelt es sich um informationsverarbeitende Systeme, die sich an biologischen Nervensystemen von Säugetieren orientieren. Dabei geht es nicht darum, den Aufbau und die Funktionsweise eines Gehirns möglichst naturgetreu nachzubilden. Stattdessen wird das Wissen über biologische Neuronale Netze genutzt, um dort erfolgreiche Funktionalitäten künstlich nachzubilden. Analog zum biologischen Vorbild bestehen KNN aus sehr vielen einzelnen Einheiten, den sogenannten Neuronen, die im Vergleich zum Gesamtsystem jeweils sehr einfach aufgebaut sind /38/.

Sie hat drei Hauptkomponenten:

- einen Zellkörper
- den Dendriten, welche die Eingabe des Netzes in die Zelle aufsummieren,
- und ein Axon, welches die Ausgabe einer Zelle nach außen weiterleitet, sich verzweigt und mit den Dendriten nachfolgender Neuronen über Synapsen in Kontakt tritt.

Die Stärke der Synapsen wird meist durch einen numerischen Wert, dem Verbindungsge-  
wicht, dargestellt (siehe Abbildung 2-3)

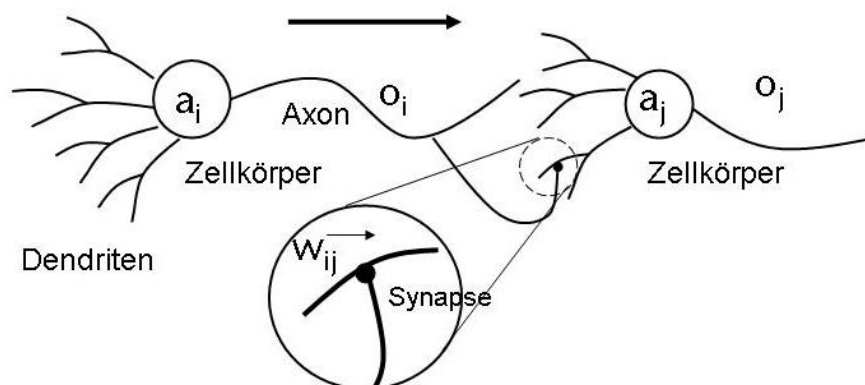


Abbildung 2-3: Darstellung zweier Neuronen und Ihre Vernetzung

Diese Neuronen sind untereinander hochgradig verbunden. Durch gerichtete Verbindungen können sie sich deshalb nach vorgegebenen Regeln untereinander aktivieren, wodurch die Informationsverarbeitung stattfindet. Auf diese Weise ist es möglich, durch KNN mittels einfacher arithmetischer Funktionen sehr komplexe Eingabe- und Ausgabe-Zusammenhänge abzubilden.

KNN benötigt zur Bearbeitung eines Problems lediglich eine Struktur und ein Lernverfahren. Das bedeutet, dass sich das Netz für die Bearbeitung eines vorliegenden Problems in einem Lernprozess anhand von Trainingsbeispielen selbständig konfigurieren muss. Durch die Lernfähigkeit (die Fähigkeit, sich in einem adaptiven Prozess auf die jeweiligen Erfordernisse einzustellen, ohne dass die jeweilige Konfiguration explizit vorgegeben werden muss) werden reale Vorgänge eines Nervensystems imitiert und für praktische Zwecke eingesetzt.

Für die Zwecke der Zeitreihenanalyse kann ein KNN als eine allgemeine nichtlineare Zuordnung zwischen einer Teilmenge von Zeitreihenwerten der Vergangenheit und der Zukunft sein. Die spezifische Zuordnung, die durch das Netzwerk ausgeführt wird, hängt von der Architektur des Netzwerks und den Werten der Verbindungsgewichte zwischen den Neuronen ab. Das Training (Lernprozess) kann durch die Anpassung der Gewichtsparemeter neue Zuordnungen bilden. Am Ende findet das KNN eine Beziehung zwischen den Zeitreihenwerten der Vergangenheit und der Zukunft.

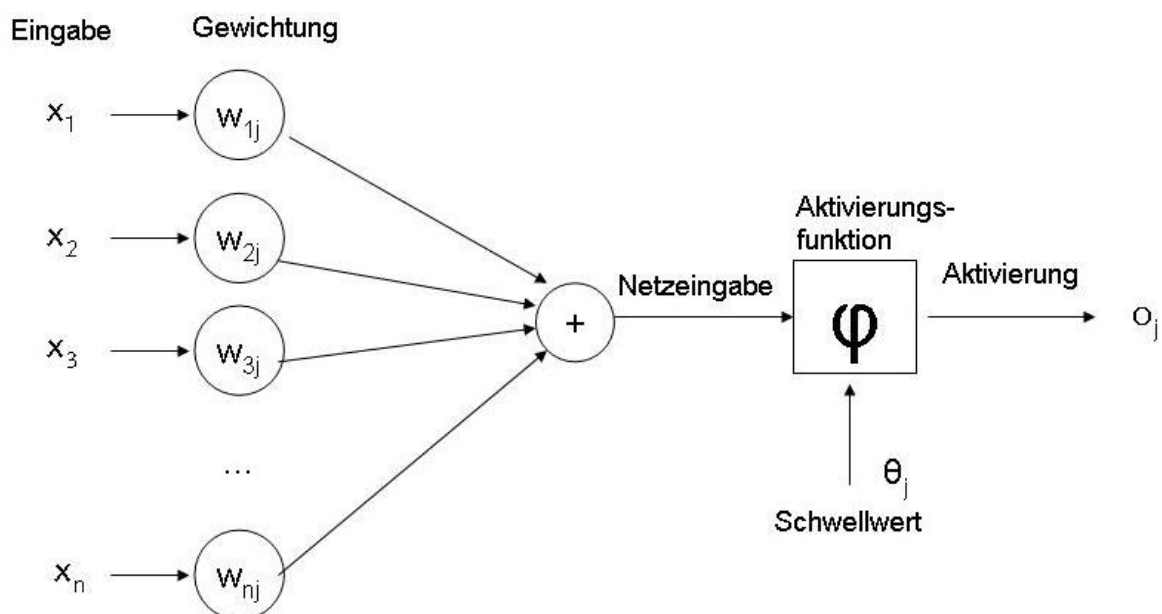


Abbildung 2-4: Schema eines künstlichen Neurons

Bei KNN spielen archivierten Daten bei der Training eine große Rolle. Die Verfügbarkeit und die Menge von Zeitreihendaten aus Vergangenheit bestimmen die Güte der Prognose.

### 2.1.5 Autoregressive Integrierte Moving-Average-Verfahren: ARIMA

Als Grundlage von Autoregressiven Integrierten Moving-Average-Prozessen (ARIMA Prozessen) dienen ARMA-Prozesse, die eine Kombination von Moving-Average und Autoregressiven Prozessen darstellen /38/.

Ein ARMA(p,q)-Prozess wird demnach wie folgt gebildet:

$$Y_t = \sum_{j=1}^p \beta_j Y_{t-j} + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \alpha_j \varepsilon_{t-j}$$

Voraussetzung für die Anwendung eines ARMA-Prozesses ist jedoch, dass es sich bei der beobachteten Zeitreihe um einen schwach stationären Prozess handelt. Da reale Zeitreihen oftmals Instationaritäten wie einen Trend oder saisonale Abhängigkeiten aufweisen, müssen diese durch Differenzenfilter in stationäre Prozesse transformiert werden. Dabei muss die Ordnung des Differenzenfilters hinreichend groß gewählt werden, damit die dadurch entstehende Zeitreihe stationär ist. Die Kombination einer Differenzenbildung mit einem ARMA(p,q)-Modell wird als ARIMA(p,d,q)-Modell bezeichnet, wobei mit dem Parameter d die Ordnung des Differenzenfilters angegeben wird.

Die Bestimmung der Parameter erfolgt durch die sogenannte Box-Jenkins-Methode, bei der in einem iterativen Verfahren die folgenden drei Schritte so lange durchlaufen werden, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht wird:

- Bei der Modellidentifikation werden mit Hilfe der Autokorrelationen die Dimensionen p, d und q des stochastischen Prozesses bestimmt. Diese Parameter müssen derart gewählt werden, dass die empirischen Autokorrelationen für die verschiedenen Zeitlags der beobachteten Zeitreihe möglichst genau der theoretischen Autokorrelationsfunktion des modellierten Prozesses entsprechen. Gleiches gilt analog dazu auch für die partiellen Autokorrelationen  $r_{k-1(k)}$ .
- Die übrigen Koeffizienten des Modells werden bei der Parameterschätzung bestimmt. Hierbei handelt es sich um die von den im ersten Schritt bestimmten Dimensionen abhängigen Faktoren  $b_1, \dots, b_p, a_1, \dots, a_q$ . Diese können beispielsweise durch die Methode der Kleinsten Quadrate oder die Maximum-Likelihood-Methode geschätzt werden.
- Wurde das Modell adäquat geschätzt, sollte es sich bei den verbleibenden Residuen lediglich um eine Realisation eines Weißen Rauschens handeln. Dies wird bei der

Modellüberprüfung durch eine visuelle Residuenanalyse oder durch statistische Tests sichergestellt.

Der an dieser Stelle nur kurz skizzierte Vorgang kann sich in der Praxis als sehr komplex erweisen. Insbesondere die Ordnungen des Prozesses lassen sich nicht eindeutig bestimmen, da es sich bei der beobachteten Zeitreihe lediglich um eine einzige Realisation des modellierten Prozesses handelt. Da die auf Anhieb geschätzten Parameter deshalb oft noch nicht zu einer ausreichenden Güte des Modells führen, müssen die einzelnen Schritte ggf. mehrfach durchgeführt werden. Dies führt dazu, dass die Identifikation des geeigneten Modells sehr schwierig sein kann und auch nicht in jedem Fall zufrieden stellende Ergebnisse erreicht werden /39/.

#### **2.1.6 Beispiel der Verwendung von Wettervorhersage für die Windleistungsprognose**

In /40/ wurde ein Prognosemodell für die Windenergie entwickelt, das auf Wetterprognose basiert. Es stützt sich auf vier wesentliche Säulen:

- Vorhersage von Windgeschwindigkeit und -richtung sowie weiteren meteorologischen Parametern des Deutschen Wetterdienstes (DWD-Prognose) für ausgewählte, repräsentative Standorte
- Transformation der DWD-Prognose auf die lokalen Gegebenheiten mit dem dreidimensionalen Atmosphärenmodell Klima Modell Mainz (KLIMM)
- Bestimmung der Windleistung für die repräsentativen Standorte mit Hilfe von Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN)
- Hochrechnung der einzelnen Windleistungen auf die Gesamteinspeisung im Netzgebiet der E.ON Netz GmbH (ENE) mit dem Transformationsalgorithmus des Online- Modells (OM) des ISET.

Die Grundidee bei der Entwicklung des Prognosemodells war, das am ISET entwickelte und bei ENE im Einsatz befindliche OM als Basis für die Windleistungsprognose zu verwenden.

Das OM berechnet die aktuell eingespeiste Windleistung aller WEA in einem Versorgungsgebiet, basierend auf online erfassten Windleistungsdaten einiger repräsentativer Standorte. Über einen parametrisierten Algorithmus berechnet das OM aus den gemessenen Windleistungen die Summenleistung aller WEA für das Versorgungsgebiet. Das Prognosemodell nutzt den Algorithmus des OM, um aus den einzelnen Windleistungs-

prognosen eine Windleistungsprognose für das gesamte Versorgungsgebiet zu errechnen. Für diese Standorte stellt der DWD prognostizierte Winddaten sowie weitere meteorologische Parameter in 1-Stunden-Intervallen für einen Vorhersagezeitraum von bis zu 72 Stunden und einer horizontalen Auflösung von 7 km zur Verfügung (DWD-Prognose). Bei der Auswahl der Standorte wurde auch die Entfernung zu Messstellen berücksichtigt, um die DWD-Prognose mit gemessenen Winddaten vergleichen zu können sowie mit Hilfe statistischer Verfahren systematische Fehler zu ermitteln und zu beseitigen.

Das Prognosemodell besteht aus zwei Modulen (siehe Abbildung 2.1), welche ineinander greifen. Das Modul I liefert eine Windleistungsprognose bis zu zwei Tagen, ausschließlich basierend auf der DWD-Prognose für die repräsentativen Standorte. Aus diesen 16 einzelnen Windleistungsprognosen wird mit Hilfe des OM die Windleistungsprognose für das gesamte Versorgungsgebiet erstellt. Das Modul II nutzt die online erfassten Leistungsdaten an den repräsentativen Standorten, um Abweichungen der Windleistungsprognose des Modul I zu erkennen und die Vorhersage für die nächsten 3 bis 6 Stunden zu verbessern.

Bei der Entwicklung und Verifizierung der Module wurde auf verschiedene Datenquellen, wie Prognosedaten des Deutschen Wetterdienstes, Leistungsdaten aus dem Online-Modell der ENE, usw. zurückgegriffen.

Die an einem UW angeschlossenen Windparks haben zum Teil einen bestimmenden Abstand zueinander. Dadurch können u.U. an einigen der vermessenen Windparks andere Windverhältnisse als am Bezugspunkt der DWD-Prognose herrschen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, werden die einzelnen DWD-Prognosen mittels eines dreidimensionalen, numerischen Strömungsmodells (KLIMM) vom Bezugspunkt eines repräsentativen Standortes auf die zugehörigen Windparks transformiert.

Hierbei werden Standort- und Wetterparameter wie Topographie(Geländemodell), Orographie (Bodennutzung, -bedeckung und -bebauung), Richtung und Geschwindigkeit der Strömung in der freien Atmosphäre und Thermische Schichtung der Atmosphäre (vertikale Temperaturverteilung) berücksichtigt.



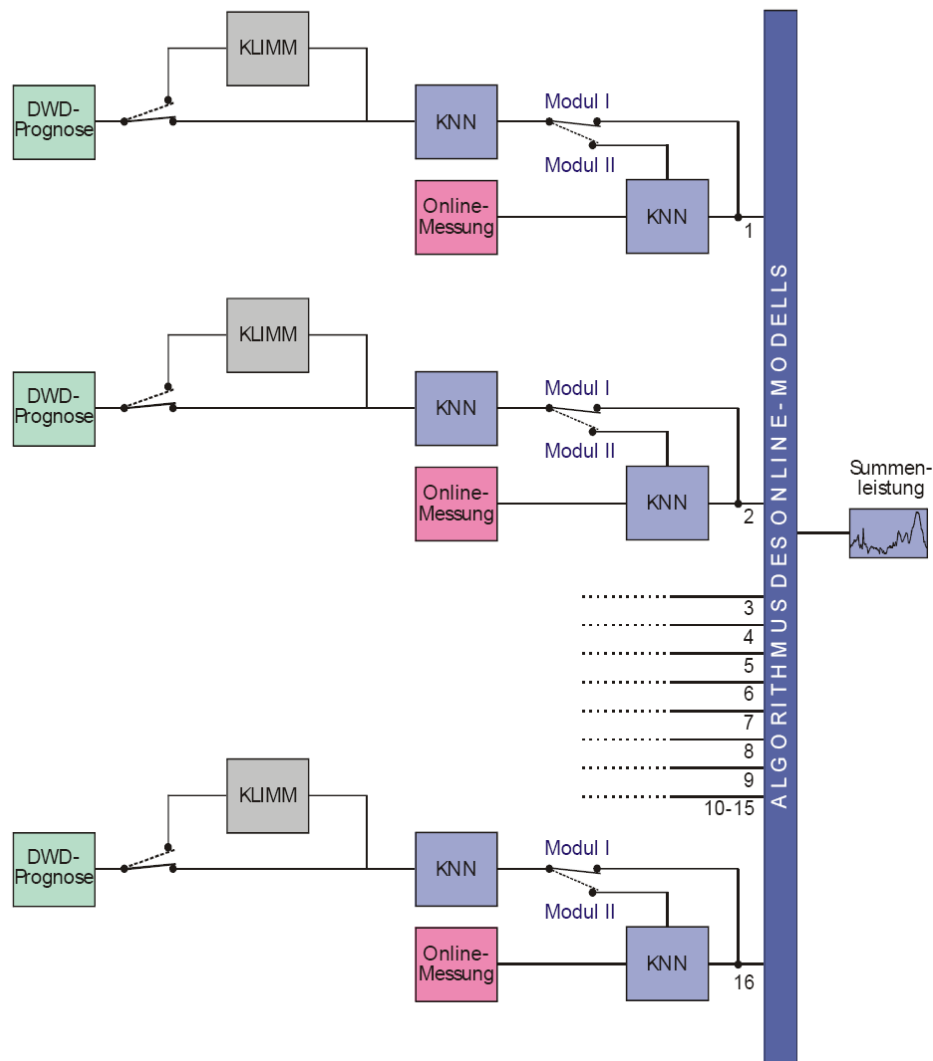


Abbildung 2-5: An repräsentativen Standorten werden mit DWD-Prognosen und aktuellen Messdaten Windleistungsprognosen erstellt, die dann mit dem Transformationsalgorithmus des Online-Modells auf Summenleistung hochgerechnet werden. Das erste Modul des Prognosemodells nutzt die DWD-Prognose, um für repräsentative Standorte mit Hilfe von KNN Windleistungsprognosen für den Folgetag zu erstellen. Das Modul II nutzt neben den Leistungsprognosen des Moduls I auch die aktuelle Leistungsmessung des repräsentativen Standortes, um mit Hilfe von KNN Kurzzeitprognosen (3-6 Stunden) zu erstellen./40/

Die entwickelten Prozeduren und Parametersätze wurden in das Prognosemodell eingebunden. In /41/ ist eine detaillierte Beschreibung zum Strömungsmodell KLIMM zu finden. Die Leistung der Windparks wird mit Hilfe von KNN berechnet, die im Prinzip mehrdimensionale Leistungskennlinien der angeschlossenen WEA darstellen. Diese Methode ist anderen Verfahren überlegen, da der tatsächliche Zusammenhang zwischen gemessener oder prognostizierter Windgeschwindigkeit und Windparkleistung von den KNN erlernt wird.

Das Verfahren hat seine besonderen Vorzüge in der Genauigkeit, den geringen Rechenzeiten und niedrigen Betriebskosten, da nur eine geringe Anzahl von Vorhersage- und Messstandorten benötigt wird.

## **2.2 Lastmanagementsystem**

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, die Differenz aus Erzeugung und Verbrauch auszugleichen. Entweder wird die Erzeugung an den Bedarf angepasst, oder der Verbrauch an das Stromangebot. Eher wird zurzeit die erste Möglichkeit verwendet (der klassische Fall), weil die EVU die Erzeugung besser als den Verbrauch kontrollieren können. Allerdings verursacht die Durchführung der ersten Option mehr Kosten und Umweltbelastung.

Aus diesem Grund entwickeln EVU Aktivitäten zur systematischen Beeinflussung der Menge und/oder des Zeitpunktes von Energieverbrauch entweder durch Energieversorger oder gesetzliche Vorgaben. Es handelt sich hier um „Demand Side Management“. Als Antwort an diese Aktivitäten (z.B. Preissignale) wird eine Änderung des Verbrauchs erwartet (Demand Response). Die Lastanpassung ist Oberbegriff für Strategie des Lastmanagements, der Energieeffizienz und -Einsparung sowie Elektrifizierung. Es gibt verschiedene Strategie des Lastmanagements:

### **2.2.1 Lastmanagement mittels Peak Clipping**

Peak Clipping ist ein Klassiker bei DSM. Die Lastspitzen werden seitens des EVU oder des Verbrauchs gekappt. Er erfordert eine direkte Kontrolle der Last und der Energieinhalt wird reduziert, insbesondere zu on-peak Zeiten. Anderer Begriff dafür ist Peak Shaving und es wird auch von Spitzenlastmanagement geredet.

Ein großes Interesse des Versorgers liegt an gleichmäßiger Last, wo die ungerechneten Peaks zu vermindern sind. Es wird versucht, an den Kraftwerkfahrplan durch Maßnahmen wie Tarifsysteme einzuhalten. Ein gutes Beispiel ist der Tarif mit 15 Minuten-Leistungsmessung. Die Durchschnittslast wird über 15 Minuten-Intervalle kalkuliert und die höchste 15 Minuten-Werte eines Abrechnungszeitraumes (z.B. 1 Jahr) bestimmen den Leistungswert, der als variabler Anteil „Leistungskosten“ in der Stromrechnung berücksichtigt wird.

Dagegen reagiert der Verbraucher durch ein logisches Verhalten, das die Energiekosten durch die Reduktion der 15 Minuten-Spitzenwert gering hält.

Andere Umsetzung des Spitzenlastmanagements ist die Verwendung der Maximumwächter. Es wird die Ist- und einstellbarer Solllast permanent verglichen. Durch eine prognosebasierte Beobachtung wird die Spitzenlast durch rechtzeitiges Abschalten von Verbrauchern reduziert. Die Abschaltung wird mit Hilfe einer statischen oder dynamischen Prioritätsliste durchgeführt. Bei sinkender Last werden die Verbraucher in umgekehrter Reihenfolge wieder zugeschaltet.

Eine der Grundsatzfrage ist die Einstellung der maximalen Spitzenlast. Wenn die maximale Spitzenlast zu groß gewählt ist, wird unnötig ein hoher Leistungspreis generiert. Die Energie, die zur Verfügung steht, kann gar nicht ausgenutzt werden. Bei der Auswahl einer kleinen Spitzelastgrenze steigt das Risiko der Störungen im Betriebsablauf, weil einigen Arbeiten nicht ausgeführt werden können. Es muss ein Konsens gefunden werden, um die Energie optimal zu nutzen. Eine Messungskampagne vor der Bestimmung der Grenzwerte ist sehr häufig notwendig.

Das Spitzenlastmanagement wird durch verschiedene Methode durchgeführt. Die Integralmethode wird am meistens verwendet. Die Momentanleistung wird seit des Beginns der 15 Minuten-Periode integriert.

Der obere Teil von Abbildung 2-6 zeigt zwei Beispiele (Kurve a, Kurve b), um einen eingestellten Energie-Sollwert für eine Viertelstunden-Messperiode zu erreichen. Der mittlere und der untere Teil von Abbildung 2-6 zeigen die jeweiligen Leistungskurven (Leistungskurve „a“ bzw. „b“), welche im oberen Teil der Abbildung die beiden verschiedenen Wege zum Erreichen des Sollwertes der Energie bewirken.

- Kurve a: Der mittlere Teil von Abbildung 2-6 zeigt den Verlauf der Leistung, wenn der Energie-Sollwert nach Kurve a erreicht werden soll. Im ersten Viertel der Kurve a ist die Leistung doppelt so hoch als erlaubt. Im zweiten Viertel der Kurve a wird die Leistung fast halbiert, da bei einer weiterhin doppelt so hohen Leistung nach 15 Minuten der Energie-Sollwert nicht erreicht werden kann. Da diese Reduktion noch nicht ausreicht und bei Beibehaltung der momentanen Leistung am Ende der 15 Minuten der Energie-Sollwert überschritten werden würde, wird im dritten Viertel die Leistung weiter reduziert. Im vierten Viertel wird die Leistung auf jenen Wert begrenzt, so dass nach der verbleibenden Zeit in diesen 15 Minuten der Energie-Sollwert genau erreicht wird.

- Kurve b: Der untere Teil von Abbildung 2-6 zeigt den Verlauf der Leistung, wenn der Energie-Sollwert nach Kurve b erreicht werden soll. Im ersten Drittel liegt die Leistung unter jenem Wert, der nach 15 Minuten genau den vorgegebenen Energie-Sollwert erreichen würde. Aus diesem Grund kann, wenn erforderlich, wieder Leistung zugeschaltet werden, da keine Gefahr der Überschreitung des Energie-Sollwertes nach Ende der 15 Minuten besteht. Im dritten Drittel der Kurve b kann die Leistung auf jenen Wert gesteigert werden, der nach Ende der 15 Minuten das Erreichen des Energie-Sollwertes bedeutet. Das Zuschalten von Leistung ist natürlich nur dann möglich, wenn in diesem Moment auch Verbraucher vorhanden sind, die mehr Leistung benötigen.

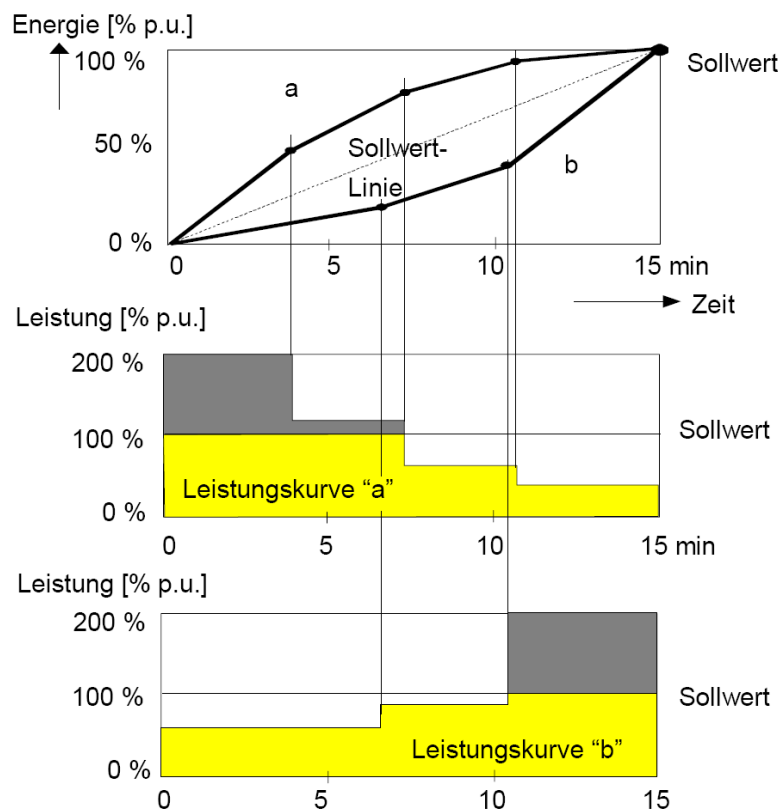


Abbildung 2-6: Viertelstunden-Leistung mit Abschaltgerade /42/

$\Delta E$	Ungenutzte erhältliche Energie
$P_C$	Angeschlossene Leistung (abhängig vom Prozeß)
$L_S$	Leistungsfluß
$L_{S1}$	Leistungsfluß Gruppe 1
$L_{S2}$	Leistungsfluß Gruppe 2
$L_{RECON}$	Wiederzuschaltbare Leistung
$E_A$	Aktueller Kurs der Energie
$E_N$	Nennkurs der Energie
$\Delta t$	Verzögerungszeit
$\Delta t_b$	Sperrzeit
$P_d$	Abschalten von Leistung (infolge des Prozesses)

Hier wird der Verbraucher im 15 Minuten Intervall berücksichtigt. Innerhalb der 15 Minuten-Intervalls muss eine vorbestimmte Energiemenge (100%) nicht überschritten werden. Dazu muss ständig den Verbrauch sich mit einem linearen Nennkurs  $E_N$  vergleichen. Am Ende des Intervalls soll die geplante Energie verbraucht werden. Aus diesem Grund werden die Lasten an die richtigen Zeiten umgeschaltet, um das Ziel zu erreichen. Die Umschaltung der Lasten wird durch einen Spitzenlastwächter nach bestimmten Strategien (Regeln) realisiert.

#### 2.2.1.1 Strategie 1

Solange der Nennkurs in den betrachteten 15 Minuten-Intervall nicht überschritten ist, dürfen weitere Lasten zugeschaltet werden. Bei Überschreitung werden Lasten gemäß ihrer Priorität abgeschaltet. Aber die Abschaltung ist erst nach einer Verzögerung von  $\Delta T$  durchzuführen. Die abgeschalteten Lasten werden im aktuellen Intervall nicht wieder zugeschaltet. Diese Strategie nutzt nicht die gesamte zur Verfügung stehende Energie  $\Delta E$ .

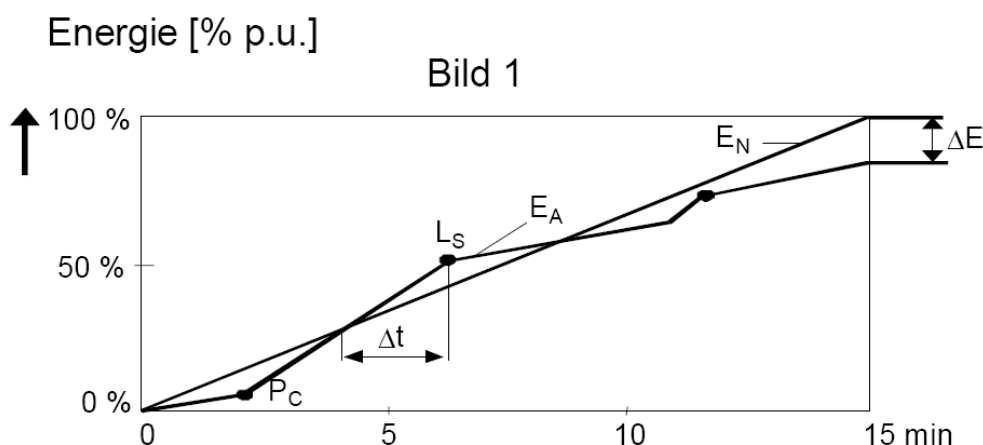


Abbildung 2-7: Lastmanagement mit Soll-/Istwert Vergleich Entlang eines Nennkurses für die Energie ( $E_N$ ), der nach 15 Minuten den festgelegten Energie-Sollwert erreicht, wird ein aktueller Kurs der Energie ( $E_A$ ) angelehnt, um den Energie-Sollwert so genau als möglich zu erreichen, ohne ihn je zu überschreiten. Solange der Nennkurs für die Energie nicht überschritten wird, können

Lasten zugeschaltet werden (Punkt PC). Wenn aber der Nennkurs für die Energie überschritten wurde, dann erfolgt nach einer bestimmten Verzögerungszeit ( $\Delta t$ ) die Abschaltung von Lasten, um die Überschreitung aufzuheben. Einmal abgeworfene Lasten werden aber nicht mehr zugeschaltet, weshalb am Ende der 15 Minuten nicht die ganze verfügbare Energie verbraucht wurde. Die nicht verbrauchte Energie ist mit  $\Delta E$  bezeichnet.

### 2.2.1.2 Strategie 2

In dieser Strategie wird eine Sperrzeit vorbestimmt. Es ist eine Toleranzzeit, wo keine Abschaltung der Lasten erlaubt ist. Nach der Sperrzeit werden im Falle einer Überschreitung nach und nach Lasten abgeschaltet. Wenn einen vorbestimmten Grenzwert (Energie-menge) erreicht ist, werden alle lasten abgeworfen (extrem Fall). Wie bei der ersten Strategie dürfen die abgeschalteten Lasten nicht in dem aktuellen Intervall wieder zugeschaltet werden. Aus diesem Grund bleibt auch hier ein  $\Delta E$  ungenutzt. Die Unterscheidung mit der ersten Strategie liegt nur in der Einführung einer vorbestimmten Sperrzeit.

Energie [% p.u.]

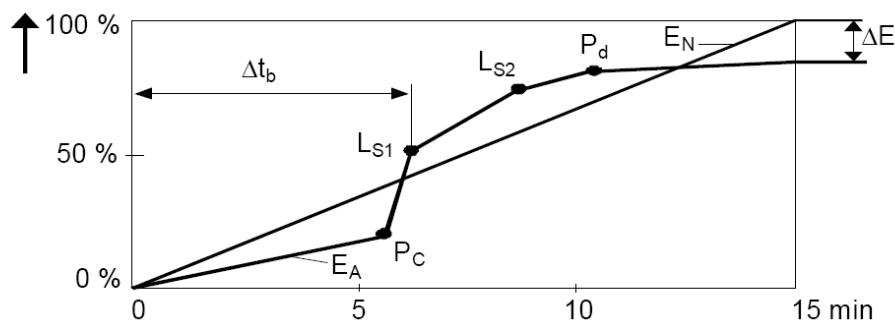


Abbildung 2-8: Lastmanagement mit Sperrzeit (Ohne Wiederzuschaltung der Leistung)

In Abbildung 2-8 wird nach dem gleichen Prinzip gearbeitet wie in Abbildung 2-9. Der Unterschied besteht darin, dass es wieder zu einem Zuschalten von Lasten kommen kann. Dies erfolgt dann, wenn die Nennkurve für die Energie nach dem Abschalten einer Last unterschritten wurde und die 15 Minuten noch nicht vorbei sind. Dadurch wird die gesamte verfügbare Energie innerhalb der 15 Minuten genutzt. Diese 2. Strategie wird durch eine mögliche Wiederzuschaltung der Leistung verbessert.

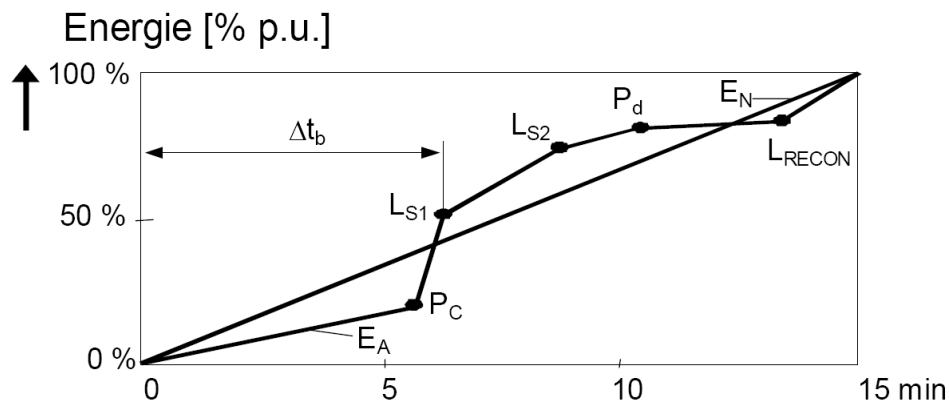


Abbildung 2-9: Lastmanagement mit Sperrzeit (inkl. Wiedereinschaltung der Leistung)

Die Methode, die in Abbildung 2-9 angewendet wird, arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie die Strategie in Abbildung 2-8. Die Verbesserung liegt darin, dass bei diesem Verfahren, nachdem eine Überschreitung des Nennkurses für die Energie festgestellt wurde, der Trend des aktuellen Kurses der Energie ( $E_A$ ) berechnet wird. Das heißt, dass je nach Höhe der Überschreitung leistungsstärkere oder -schwächere Lasten ( $L_{S1}$ ,  $L_{S2}$ ,  $L_{S3}$ ,  $L_{S4}$ ,  $L_{S5}$ ) reduziert werden, bis der Trend des aktuellen Kurses der Energie ( $E_A$ ) darauf hindeutet, dass nach Ablauf der 15 Minuten die gesamte verfügbare Energie verbraucht wurde. Es kommt daher zu keiner weiteren Unterschreitung des Nennkurses für die Energie und auch nicht zu einer kompletten Abschaltung aller Lasten beim Erreichen eines bestimmten Energiewertes.

### 2.2.1.3 Strategie 3 : Einbezug des Trends

Wie bei der zweiten Strategie wird in dieser Strategie auch eine Sperrzeit vorbestimmt. Es dient zur Beobachtung des Lastverlaufs. Bei Unterschreitung von Nennkurs nach der Sperrzeit werden Lasten nicht nach Priorität sondern nach Leistungsaufnahmen reduziert. Es wird der Trend unter Berücksichtigung der Überschreitung berechnet. Es wird prognostiziert, welche Lasten später zugeschaltet werden können, ohne die gesamte Energie in dem aktuellen Intervall zu überschreiten (siehe Abbildung 2-10).



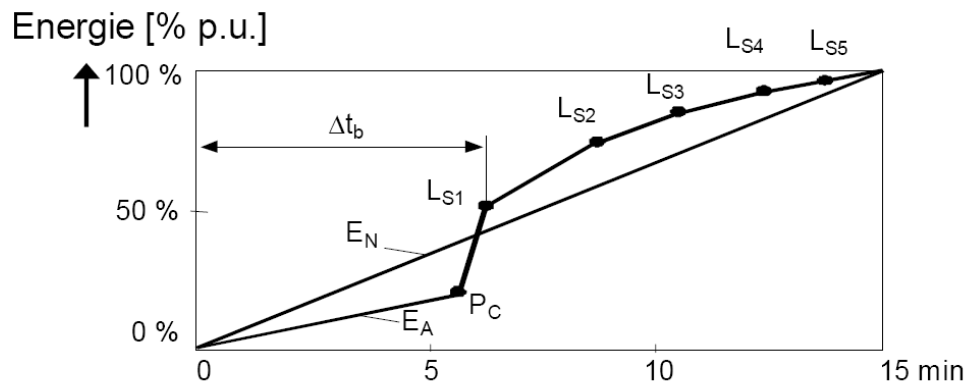


Abbildung 2-10: Lastmanagement mit Sperrzeit und Trendberechnung

### 2.2.2 Lastmanagement mittels Valley Filling

„Valley Filling“ ist das Gegenteil des „Peak Clipping“. Es geht um die „Ausfüllung von Lasttälern“. Bei schwarzen Lasten sollen Verbraucher zugeschaltet werden. Diese Art des Lastmanagements ist sehr oft verwendet, wenn keine Abschaltung der Erzeuger aus technischen oder /und wirtschaftlichen Gründen möglich ist. Es werden dadurch „off-peak“ Lasten bereitgestellt.

Um keinen Strom umsonst zu verbrauchen, werden hier Lasten mit bestimmten Speicherkapazitäten eingesetzt. Die aus dem Strom erzeugte Nutzenergie muss nicht unbedingt an Schwachlastenzeiten genutzt werden. Beispielsweise sind thermische Speicher als Lasten ein geeignetes Mittel für das Lastmanagement mittels Valley Filling. Die thermischen Speicher wandeln elektrische Energie in Wärme oder Kälte um (d.h. Temperaturdifferenz). Sie haben Wärme- oder Kälteaggregate, die für einen gewissen Zeitraum zusätzlich in Betrieb genommen werden kann, um Speicher zu füllen, ohne dass benutzungsbedingte Schwellenwerte überschritten werden. Sie sind geeignet für den Einsatz im Demand Response zur Bereitstellung negativer Regelenergie. Durch Abschalten der Aggregate sind thermische Speicher auch zur Bereitstellung positiver Regelenergie geeignet. Ein gutes Beispiel für solche Anlagen ist die Nachtspeicherheizung.

### 2.2.3 Lastmanagement mittels Load Shifting

Einige Lasten werden von den „on-peak“ Zeiten zu den „off-peak“ Zeiten verschoben. Es erfolgt entweder durch die Umwandlung von elektrischer Energie in anderen Energieformen zu „off-peak“ Zeiten und Nutzung der umgewandelten („gespeicherten“) Energie in „on-peak“ Zeiten, oder einfach durch eine Verschiebung der Leistungsaufnahmen (bspw. einer Waschmaschine), die mit der Hilfe einem „Dynamic Pricing Program“ geregelt wird.

**2.2.4 Güte des Lastmanagements durch Indizien aus Ähnlichkeitsmaßen****[DSM 50-56]**

Das erste Ziel der Ähnlichkeitsmaße ist die Reduktion oder Eliminierung der Höhen oder Häufigkeit der Lastspitzen und -Täler. Die Quantifizierung der Matching bzw. der Güte der Anpassung wird durch verschiedene Metriken realisiert:

- Einfache Verfahren
- Statistische Verfahren
- Korrelationsuntersuchung

Die am meisten verwendeten Indizien für die Güte eines Lastmanagements sind im Folgenden aufgelistet:

- Schnittmenge der Kurven (shared Area, SA) oder normierte Schnittmenge (%SA)

$$SA = \int_0^n \max_{\forall t} [D(t), S(t)] dt - \int_0^n |D(t), S(t)| dt = \int_0^n \min_{\forall t} [D(t), S(t)] dt$$

Wobei D(t) das Nachfrage-, S(t) das Angebotsprofil und n einen Zeitabschnitt repräsentieren.

$$\%SA = \frac{SA}{\int_0^n D(t) dt}$$

- Überangebot (excess supply, %ES)

$$\%ES = \frac{\int_0^n S(t) dt - SA}{\int_0^n S(t) dt}$$

- Methode der kleinsten Fehlerquadrate (least-squares method, LS)

$$LS = \sum_{t=0}^n (D_t - S_t)^2$$

LS quantifiziert die Abweichungsgröße zwischen zwei Datenmengen. Das perfekte Match wird bei LS=0 erreicht. Für den „worst case“ gibt es keinen Wert.

- Spearman's Rangkorrelationskoeffizient (CC)

Es beschreibt den Trend zwischen 2 Datenmengen und liegt zwischen -1 und 1.

$$CC = \frac{\sum_{t=0}^n (D_t - d) \cdot (S_t - s)}{\sqrt{\sum_{t=0}^n (D_t - d)^2 \cdot \sum_{t=0}^n (S_t - s)^2}}$$

wobei  $D_t$  die Nachfrage und  $S_t$  das Angebot zum Zeitpunkt  $t$ ,  $d$  die durchschnittliche Nachfrage und  $s$  das durchschnittliche Angebot für einen Zeitabschnitt  $t$  darstellen.

- Inequality Coefficient (IC)

Es beschreibt die Ungleichheit mittels:

- Ungleichstrend (Erwartungswert)
- Ungleichvariation (Varianz)
- Imperfekte Kovariation (Kovarianz)

Beim guten Match liegt IC zwischen 0 und 0,1. Beim schlechten beträgt IC einen Wert zwischen 0,9 und 1,0.

$$IC = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot \sum_{t=0}^n (D_t - d)^2}}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot \sum_{t=0}^n (D_t)^2} + \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \sum_{t=0}^n (S_t)^2}}$$

Die hier kurz geklärten Indizien werden als Mittel verwendet, um die Szenarien des Energieversorgungssystems zu evaluieren. Aber es ist schon wichtig zu betonen, dass die Güte eines Energiemanagements stark abhängig von den vorgelegten Zielen ist. Abbildung 2-11 zeigt ein Beispiel der Verwendung der Ähnlichkeitsmaße /43/.

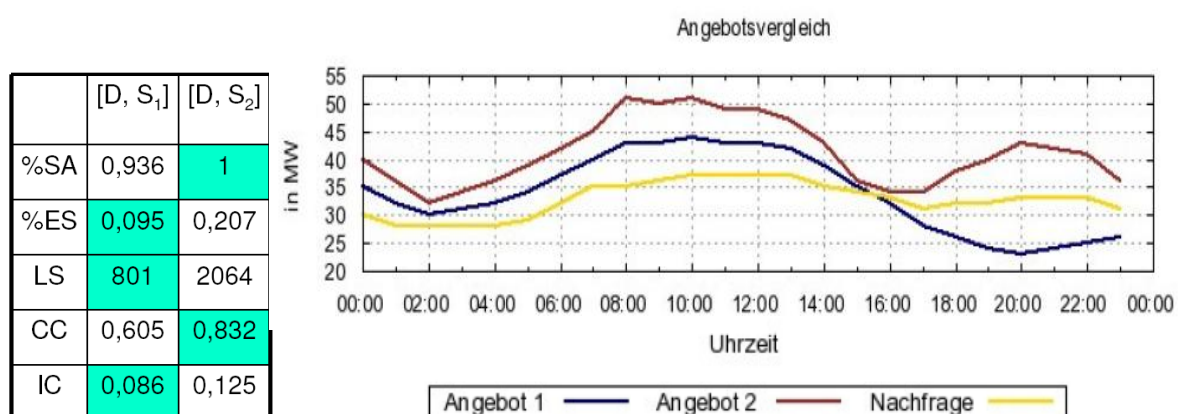


Abbildung 2-11: Ein Angebotsvergleich

## 2.3 Speichertechnologien

Zurzeit stehen unterschiedliche Speichertechnologien zur Verfügung (Abbildung 2-12). Hierbei wird hinsichtlich elektrischer Leistung, Speicherleistung und -kapazität, vorrangiger Einsatzgebiete (Ausgleich kurzfristiger Leistungsschwankungen oder Energiespei-

cherung), Nutzungsgrad (einschließlich Hilfsenergiebedarf und Ruhe- bzw. Entladeverluste) und Marktreife unterschieden.

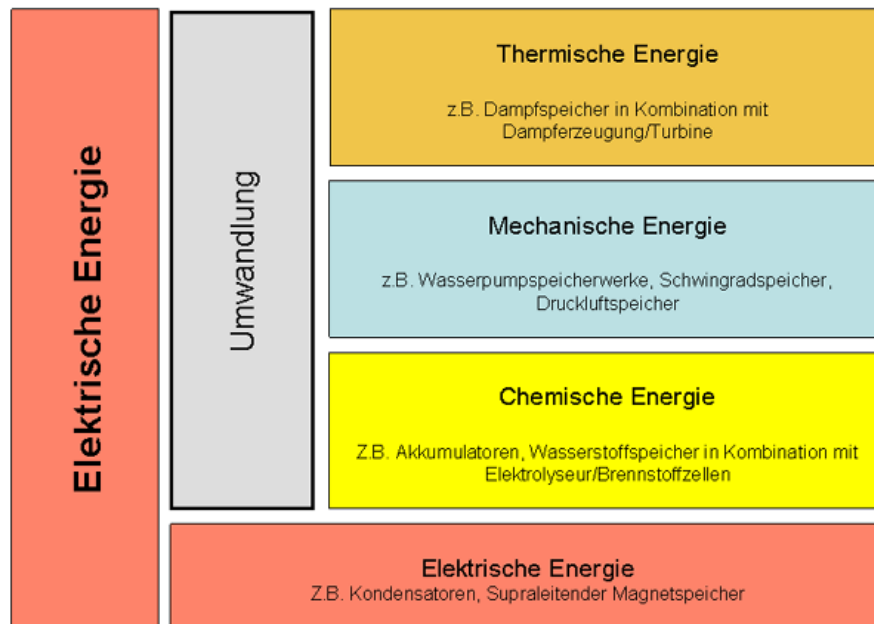


Abbildung 2-12: Möglichkeiten zur Speicherung von elektrischer Energie. (Quelle A. Mbuy nach /2/)

### 2.3.1 Pumpspeicherwerk

Pumpspeicherkraftwerke werden durch die höchsten Speicherleistungen und -kapazitäten charakterisiert und können einen Wirkungsgrad von bis zu 85 % erreichen. Zusätzlich reagieren sie relativ schnell und sind damit in der Lage, aus dem Stillstand nach rund 2 Minuten die Nennleistung und somit eine stabile Einspeisung in das Stromnetz zu erreichen. Sie eignen sich daher besonders für Spitzenlast und Sofortreserve. In Deutschland werden insgesamt ca. 30 Pumpspeicherkraftwerke zwischen 3,3 MW und 1.060 MW elektrischer Leistung betrieben. Die Gesamtleistung beträgt rund 6,7 GW<sub>el</sub> /2/. Bis 2020 sind drei neue Pumpspeicherwerke mit einer installierten Gesamtnennleistung von 1645 Megawatt in Planung. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass die Leistungsfähigkeit bestehender Anlagen durch Modernisierungsmaßnahmen um nur 330 MW erhöht werden kann, sodass bis 2050 eine installierte Nennleistung von ca. 8,6 GW möglich ist /9/.

### 2.3.2 Druckluftspeicher

Als Speicher großer Energiemengen konkurrieren Pumpspeicherkraftwerke mit Druckluftspeicher-Kraftwerken (Compressed Air Energy Storage - CAES). In CAES wird elektrische Energie mit Hilfe eines Kompressors in Druckenergie gewandelt, welche in unterirdischen

Salzkavernen gespeichert wird. Bei der Rückverstromung durchströmt die Druckluft eine Turbine (ggfls. Gasturbine), die in Verbindung mit einem Generator Strom erzeugt.

### **2.3.3 Weitere Großspeicher**

Neben diesen Großspeichern gibt es andere Technologien, die vor allem als Leistungsreserve verwendet werden können. Die elektrische Energie wird durch die Schwungmassenspeicher in Rotationsenergie umgewandelt und kann danach mit bis zu 3 MW im Sekundenbereich abgegeben werden. Schwungmassenspeicher eignen sich vor allem für die Stabilisierung des Stromnetzes und die Sicherung der Spannungs- und Frequenzstabilität.

Mit beliebiger Speicherkapazität können Akkumulatoren als chemische Speicher zwar grundsätzlich installiert werden. Platzbedarf und Investitionskosten sowie eine relativ geringe Zyklenzahl begrenzen jedoch die Einsatzfähigkeit dieser Speichertechnologie.

### **2.3.4 Methanisierung**

Dieser Ansatz befindet sich noch in der Entwicklungsphase, bietet allerdings ein erhebliches Potential zur langfristigen Stromspeicherung an. Dadurch kann der gespeicherte Brennstoff nicht nur zur Stromerzeugung, sondern aber auch durch Einspeisung in das Erdgasnetz verschiedenen Zwecken dienen.

### **2.3.5 Zusammenfassung**

Nach einem umfassenden Vergleich verschiedener Technologien ergibt sich, dass Pumpspeicherkraftwerke die derzeit flexibelste Speichertechnologie zur Bereitstellung von Regelenenergie sind. Interessant wäre es aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen, die vorhandenen stillgelegten Bergwerke zur Errichtung untertägiger Pumpspeicherkraftwerke zu nutzen. Dieses Konzept wird bisher noch nicht in Deutschland verwendet; es ist jedoch nicht neu, da es im Ausland Projekte in dieser Richtung gibt. Beispielsweise wurde ein unterirdisches Pumpspeicherkraftwerk in den USA in einer ehemaligen Erzgrube in New Jersey geplant (bis zu 2.000 MW für die Ausbauphase).

Für die Einbindung eines untertägigen Pumpspeicherkraftwerks in das deutsche elektrische Energiesystem muss dieses den Anforderungen der Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber (Transmission Code 2007) genügen. Im Folgenden wird auf die Anforderungen eingegangen, die vor allem die Leistung, die Kapazität in Form des notwendigen Speichervolumens und die Dynamik, mit der auf geänderte Leistungsanforderungen reagiert werden kann, betreffen.

## **2.4 Technische Anforderungen für Speichereinsatzbereiche**

(nach /11/, /12/, /13/, /14/, TransmissionCode 2003 und TransmissionCode 2007)

Nach einer Auffassung von dena kann der Einsatz von Speichern unter drei Kategorien unterteilt werden: Systemdienstleistung, Lastausgleich und Langzeitspeicher. Das Thema Langzeitspeicher wird hier nicht weiter betrachtet, da meist bei der Saisonspeicherung die Speicherkosten mit nur wenigen Zyklen wieder eingespielt werden müssen. Dies würde sehr große saisonale Strompreisdifferenzen benötigen, die aber in der Realität nicht zu beobachten ist /5/.

### **2.4.1 Systemdienstleistung**

Zur Erhaltung der Funktionstüchtigkeit des Netzes erbringen die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) für die Netzkunden Systemdienstleistungen, die die Qualität der Stromversorgung maßgeblich bestimmen. Die wichtigsten dieser Systemdienstleistungen sind dabei:

- Betriebsführung
- Frequenzhaltung
- Spannungshaltung
- Versorgungswiederaufbau.

Zur Erfüllung der Aufgabe "Frequenzhaltung" benötigen die Übertragungsnetzbetreiber im Sinne ihrer Systemverantwortung Regelleistung. Dementsprechend sind die ÜNB permanent zur ausreichenden Vorhaltung von Regelleistung in Form von

- Primärregelleistung
- Sekundärregelleistung
- Minutenreserve

verpflichtet.

Die deutschen ÜNB schreiben diese Regelleistungen im liberalisierten Strommarkt aus und beschaffen sie zu Wettbewerbskonditionen. Das Ausschreibungsverfahren öffnet allen Anbietern diesen Markt, wenn sie den technischen Mindestanforderungen zur Bereitstellung von Regelleistung genügen, um einen sicheren Netzbetrieb zu gewährleisten. Für

die deutschen Übertragungsnetze, als Teil des UCTE<sup>1</sup> - Verbundnetzes, sind für die Maßnahmen zur Frequenzhaltung nationaler und internationaler Regelungen verbindlich. Diese legen die technischen Vorgaben, den bereitzustellenden Umfang der jeweiligen Reserveleistungen und die organisatorischen Rahmenbedingungen fest. Im Folgenden werden kurz die wichtigsten Bereitstellungsanforderungen je Dienstleistungsart beschrieben und daraus abgeleitet, welche Speichertechnologie die jeweiligen Anforderungen bestmöglich erfüllt.

#### *2.4.1.1 Primärregelung*

Erzeugungseinheiten mit einer Nennleistung von < 100 MW können nach Vereinbarung mit dem ÜNB zur Sicherstellung der Primärregelung herangezogen werden. Für einen Anschluss an das Netz müssen Erzeugungseinheiten mit einer Nennleistung von  $\geq 100$  MW zur Abgabe von Primärregelleistung fähig sein. Pumpspeicherwerke können durch eine entsprechend abgestimmte Feinregelung der Wasserzufuhr zu den hydraulischen Maschinen sowohl im Pump- als auch im Turbinenbetrieb Primärregelung stellen:

- Das Primärregelband muss mindestens  $\pm 2$  % der Nennwirkleistung betragen und auf Anweisung des ÜNB abrufbar sein.
- Die gesamte mit der Erzeugungseinheit vertraglich vereinbarte Primärregelleistung muss bei einer quasistationären Frequenzabweichung von  $\pm 200$  mHz gleichmäßig in 30 s aktiviert und mindestens über einen Zeitraum von 15 min abgegeben werden können.
- Bei kleineren Frequenzabweichungen gilt dieselbe Leistungsänderungsgeschwindigkeit, bis die benötigte Leistung erreicht ist.
- Für die Primärregelung muss die Genauigkeit der Frequenzmessung unterhalb  $\pm 10$  mHz sein.
- Die angebotene Primärregelleistung muss über den gesamten Angebotszeitraum verfügbar sein (Zeitverfügbarkeit ist 100 %).
- Beteiligt sich eine Erzeugungseinheit nicht an der Bereitstellung der Primärregelleistung, muss diese dennoch - auch wenn sie nicht primärregelfähig ist - ab einer Netzfrequenz von 50,2 Hz eingreifen und die Leistung reduzieren.

---

<sup>1</sup> Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity



#### 2.4.1.2 Sekundärregelung und Tertiärregelung

Die Sekundärregelreserve muss innerhalb von 15 min in vollem Umfang zur Verfügung stehen, eine Einzelanlage muss daher innerhalb von 5 min voll einsatzbereit sein. Der Anbieter ermittelt durch eine Testfahrt für jede Technische Einheit die individuelle Leistungsänderungsgeschwindigkeit inklusive ggf. bestehender Totzeiten für jede Leistungsrichtung. Bei allen Technischen Einheiten ist eine Leistungsänderungsgeschwindigkeit von mindestens 2 % der Nennleistung pro Minute einzuhalten.

Für die Erbringung von Sekundärregelleistung ist es erforderlich, dass die eingesetzten Technischen Einheiten ausreichend zuverlässig sind. Eine ausreichende Zuverlässigkeit ist gegeben, wenn für eine Zeitverfügbarkeit von mindestens 95 % für die Dauer eines Ausschreibungszeitraums nachgewiesen werden kann. Außerdem muss die technische Einheit im Nachweiszeitraum mindestens zu 50 % der Zeit in Betrieb sein.

Aufgrund der konstruktionsbedingten unterschiedlichen technischen Möglichkeiten ist eine Unterscheidung zwischen hydraulischen und thermischen Technischen Einheiten bezüglich der SR-Leistungsvorhaltung zu treffen:

- Thermische Einheiten aus denen während eines beauftragten Produktzeitfensters Sekundärregelleistung vorgehalten wird, müssen sich rotierend (synchron) am Netz befinden und eine Leistungserbringung während des beauftragten Ausschreibungszeitraumes sicherstellen.
- Hydraulische Einheiten, die aus dem Stillstand innerhalb von höchstens 5 Minuten die Sekundärregelleistung erbringen können und dabei mindestens eine Leistungsänderungsgeschwindigkeit von 2 % der Nennleistung pro Sekunde einhalten, dürfen sich während des Zeitraums der Sekundärreserveleistungsvorhaltung auf Verantwortung des Anbieters betriebsbereit im Stillstand befinden. Davon unbenommen kann der ÜNB jederzeit eine rotierende Vorhaltung anweisen.

Zusätzlich kann ein Sekundärregelleistungs-Pool aus einer Gruppe von technischen Einheiten innerhalb einer Regelzone, gegebenenfalls erweitert um Sub-Pools in anderen Regelzonen, erstellt werden, aus denen der Anbieter Sekundärregelleistung für einen bestimmten ÜNB vorhalten und erbringen kann. Bei der Erbringung von Sekundärregelleistung werden zwei Einsatzprinzipien unterschieden:

- ÜNB-Poolansteuerung: Eine Gruppe von Technischen Einheiten wird durch ein einziges Soll-Signal der Leistungs-Frequenzregelung des ÜNB ange-

steuert, d.h. der Anbieter teilt das Soll-Signal des Übertragungsnetzbetreibers auf seine Technischen Einheiten eigenständig auf. Die Einsatzkoordination der Technischen Einheiten liegt damit beim Anbieter.

- **ÜNB-seitige Einzelansteuerung:** Die Technischen Einheiten werden durch individuelle Einzelsignale der Leistungs-Frequenzregelung des ÜNB angesteuert, d.h. jede Technische Einheit des Anbieters erhält ein individuelles Soll-Signal.

Die Minutenreserve muss innerhalb von 15 min für eine Dauer von bis zu 4 x 15 min abrufbar sein. Anforderungen zu Sekundärregelreserve, Minutenreserve, Sekundärregelband, Leistungsänderungsgeschwindigkeit/ -häufigkeit, Bereitstellungsdauer und technische Verfügbarkeit etc. werden vom ÜNB festgelegt. Zur Steuerung des Einsatzes der Sekundärregelleistung muss jede Erzeugungseinheit bzw. Gruppe von Erzeugungseinheiten, die unter dem Sekundärregler eines ÜNB betrieben wird, online in den entsprechenden Sekundärregelkreis eingebunden werden. Die Details werden bilateral zwischen Anbieter und dem ÜNB geregelt.

#### *2.4.1.3 Blindleistungsregelung*

Bei Wirkleistungsbetrieb (Speicherbe-/ -entladung) ist es immer möglich Blindleistung zu liefern oder aufzunehmen. Eine reine Lieferung oder Aufnahme von Blindleistung (d.h. eine Blindleistungslieferung oder Aufnahme ohne die Abgabe von Wirkleistung) ist derzeit nur durch PSW bzw. Anlagen mit Vollstromrichter möglich. Obwohl CAES-Kraftwerke die Grundvoraussetzung zum reinen Blindleistungsbetrieb erfüllen, müssten Generator und Kompressor dazu geeignet gekoppelt werden.

#### **2.4.2 Lastausgleich / Stromveredelung**

Speicher sind umso wertvoller, je öfter und je größer Preisdifferenzen auf dem Großhandelsmarkt auftreten, die stark von der Struktur des Kraftwerkparks abhängen. Technische Anforderungen für die Zulassung an der Strombörse sind niedrig und betreffen vor allem den Zugang des Stromhändlers an die Computersysteme der EEX<sup>2</sup> bzw. EPEX<sup>3</sup>. Der Einsatz des Pumpspeicherwerks wird im Wesentlichen von den variablen Kosten des Betriebs und den erzielbaren Erlösen über den Preis-Spread bestimmt (siehe Teilbericht Wirtschaftliche Betrachtung).

---

<sup>2</sup> European Energy Exchange, Leipzig

## 2.5 Transport über das öffentliche Energieversorgungssystem

Mit der prognostizierten Belastungssituation in 2020 und auf der Basis des bis 2015 in Deutschland als realisiert vorausgesetzten Übertragungsnetzes ergeben sich für das in der dena-Netzstudie II zugrunde gelegten Erzeugungsszenario (einschließlich Demand-Side-Management) an 70 % aller Grenzen zwischen benachbarten Regionen deutliche, nicht übertragbare Leistungen. In einigen Fällen liegen diese in der Größenordnung von 2 bis 4 GW. Dafür ist ein Regionenmodell für das deutsche Übertragungsnetz zugrunde gelegt, das Deutschland in 18 Regionen aufteilt (s. Abbildung 2-13). Die Einspeiseleistungen aus den Offshore-Gebieten sind den benachbarten Regionen entsprechend ihren vorgesehenen Anschlusspunkten zugeordnet. Für 2020 ergibt sich /16/:

- Onshore: rund 37 GW installierte Leistung
  - über 90% davon in nördlichen Hälfte Deutschlands
  - rund 13,3 GW (36%) in Region 21-26
  - rund 17 GW (45%) in Region 81-84
- Offshore: 14 GW installierte Leistung (12 GW Nordsee, 2 GW Ostsee)

---

<sup>3</sup> European Power Exchange Spot, Paris

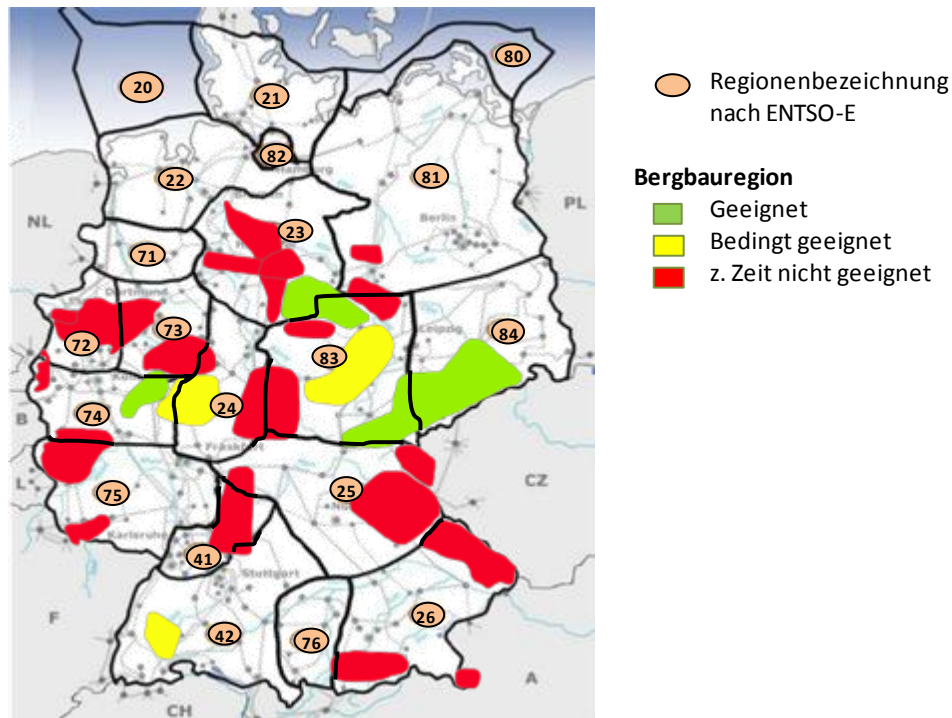


Abbildung 2-13: Regionenbild Deutschland, Regionenbezeichnung nach ENTSO-E /16/ zusammen mit der Eignungsuntersuchung der Bergbauregionen für untertägiges Pumpspeicherwerk (Quelle: IBB, Jarrah)

Die Leistungsflussberechnung im Übertragungsnetz 2015 mit der Belastungssituation 2020 (s. Abbildung 2-14) führt zu einer Ermittlung des resultierenden Übertragungsbedarfs zwischen den deutschen Regionen und dem benachbarten Ausland einschließlich der Ausweisung nicht übertragbarer Leistungen zwischen benachbarten Regionen /16/ (s. Abbildung 2-15).

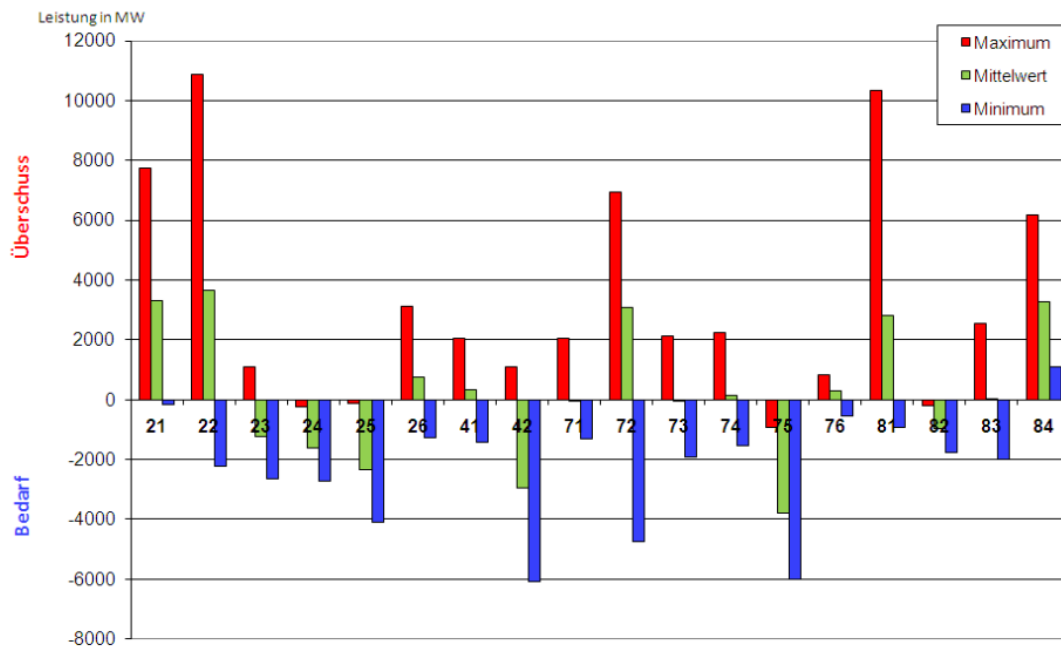


Abbildung 2-14: Regionenbilanz (Maximum, Minimum und Mittelwert je Region, Regionen nach Abbildung 2-13) /16/

Da sich die vorliegende Untersuchung von untertägigen Pumpspeicherwerken auf Integration von Windenergieanlagen und insbesondere im Offshore Bereich gerichtet hat, sollte zunächst auf die Übertragungsmöglichkeit der Windenergie aus der Nord- und Ostsee eingegangen werden. Wie Abbildung 2-13 zeigt, befinden sich die bereits als geeignet identifizierten stillgelegten Bergwerke in den Regelzonen 23, 74, 83 und 84. Die Offshore Windenergie wird in den Regelzonen 20 und 80 eingespeist. Abbildung 2-15 zeigt, dass in der Regelzone 84 eine große Menge an Überschussstrom erzeugt wird und zusätzlich ausreichend Übertragungskapazität zur Aufnahme von Windstrom aus der Ostsee zu beobachten ist. Die Regelzone 74 hat zwar keine Überschusserzeugung, kann jedoch relativ hohe Überschussmengen aus der Regelzone 72 beziehen. Allerdings erfordert eine ständige Mitwirkung an Aufnahme und Speicherung von Offshore-Windenergie in dieser Regelzone einen hohen Netzausbaubedarf. Die Regelzone 23 hat weder Überschuss an erzeugtem Strom noch besitzt sie eine große Übertragungskapazität zu den benachbarten Zonen. Mit der Regelzone 22 und damit den Windenergieanlagen der Nordsee liegt die nicht übertragbare Leistung bei 4,6 GW, mit der Regelzone 81 und Einspeisungen aus der Ostsee bei 1,3 GW. Die Regelzone 83 weist zwar eine höhere maximale Überschusseinspeisung auf, besitzt aber auch keine günstigen Übertragungsverhältnisse mit den benachbarten Zonen. Dadurch lässt sich sagen, dass im ersten Blick für eine effektive Integration von der

Offshore Windenergie durch untertägige Pumpspeicherwerke eine parallele Erhöhung der Übertragungsnetze erforderlich wird.

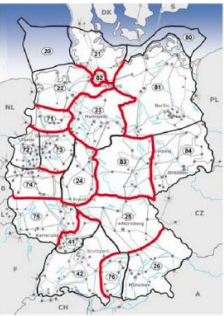
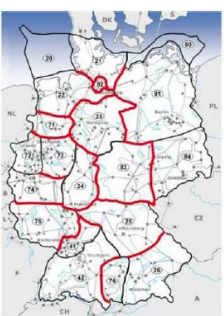
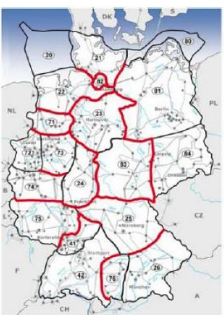
Region 1	Region 2	BAS 000	BAS 050	BAS 100	
D21	D82	-	-	-	 <p>Variante BAS 000</p>
D21	D22	4056	3016	3246	
D81	D82	542	338	236	
D22	D82	152	361	62	
D22	D71	2795	2017	1979	
D22	D23	4560	3689	4019	
D23	D24	1246	932	1849	
D23	D71	347	507	435	
D23	D73	619	478	380	
D23	D81	1296	1191	976	
D24	D73	-	-	-	 <p>Variante BAS 050</p>
D24	D74	-	-	-	
D24	D83	743	1429	943	
D81	D83	83	254	661	
D81	D84	-	-	-	
D83	D84	1308	2130	2169	
D24	D75	2431	2114	1956	
D24	D25	182	222	55	
D25	D83	4206	3843	3214	
D25	D26	344	307	125	
D25	D41	2875	2752	2578	 <p>Variante BAS 100</p>
D26	D76	-	-	-	
D41	D42	-	-	-	
D42	D75	1990	2047	2067	
D42	D76	839	1193	1207	
D41	D75	1693	1608	1739	
D71	D72	2108	1820	1703	
D71	D73	329	161	124	
D72	D73	-	-	-	
D72	D74	-	-	-	
D73	D74	45	26	50	
D74	D75	2379	3031	2712	

Abbildung 2-15: Nichtübertragbare Leistungen zwischen den Regionen, Regionengrenzen mit nicht übertragbaren Leistungen /16/

### 3. Energiemanagementsystem

Im VDI-Lexikon der Energietechnik /29/ wird der Begriff „Energiemanagement“ definiert: „Das Energiemanagement umfasst die Planung, die Koordination und die Kontrolle aller Aktivitäten, deren Ziel die Optimierung des zur betrieblichen Leistungserstellung notwendigen Energieeinsatzes ist“. Die Gasversorgung ist einer der Bereiche, in denen das Energiemanagement schon lange angewandt wird. Beispielsweise können diese praktische Anwendung „POGAL-System“ (Prognose und Optimierung in der Gas-Leittechnik) in /36/ gefunden werden. Technische und betriebliche Maßnahmen sind für die Umset-

zung des Energiemanagements notwendig. Unter „technischen Maßnahmen“ versteht man beispielsweise Effizienzsteigerung bei der Erzeugung, Lastmanagement, Abwärmenutzung, und unter „betrieblichen Maßnahmen“ beispielsweise Auswahl der Produktionsorte, Investitionen und Energiebezugs- und Energielieferverträge. Als die Gesamtheit aller Betriebsmittel, die notwendig zur Planung, Koordination und Kontrolle der Aktivitäten sind, wird deshalb „Energiemanagementsystem“ erklärt /44/. Sein Ziel ist die Optimierung des zur betrieblichen Leistungserstellung notwendigen Energieeinsatzes.

In einem elektrischen Energieversorgungssystem werden auch Energiemanagementsysteme eingesetzt, damit die Erzeugung, Übertragung, Verteilung und der Verbrauch von elektrischer Energie nach vorgebestimmten Zielen optimiert werden. Zusätzlicher Nebeneffekt sind die Schonung der Umwelt und die sichere Verfügbarkeit der Ressourcen. Wenn noch erneuerbare Energien auf der Erzeugungsseite zur Verfügung stehen, so werden der Einsatz und die Qualität solcher fluktuierenden Energien besser behandelbar. Natürlich stehen die Kosten und die Verfügbarkeit sowohl für die Energieversorgungsunternehmen als auch für die Verbraucher im Vordergrund.

Aus der Sicht der Erzeugung haben die folgenden Punkte einen Einfluss auf den Preis der Energie:

- Energieträger (oder Energiequelle)
- Anlagen und Leitungen
- Instandhaltung
- Anfahrkosten
- Transport und Lagerung
- Umweltkosten

Einige dieser Kostenpunkte sind mit Hilfe eines guten Energiemanagementsystems im Sinne einer Kostensenkung beeinflussbar.

Aus der Sicht des Verbrauchs ist oft ein Lastmanagement notwendig, um ein Gleichgewicht mit der Erzeugung zu behalten und Kosten zu reduzieren.

Ein Energiemanagementsystem rentiert sich nicht für jeden Betreiber. Um ein effizientes Energiemanagementsystem mit allen seinen Einflussfaktoren und Komponenten einzusetzen, muss der Aufwand relativ hoch sein, damit man messbare Ergebnisse vorweisen kann. Deshalb hängt die Entscheidung für oder auch gegen den Einsatz eines Energiemanagementsystems von diesen messbaren Ergebnissen ab.



Abbildung 3-1 zeigt als Beispiel eine schematische Darstellung des Energiemanagements im Rahmen der elektrischen Energieversorgung. Das dargestellte Energieversorgungssystem besteht aus einem Windpark, einem Pumpspeicherwerk und einem Notstromaggregat. Die Netzführung durch einen Kurzzeitspeicher wird auch integriert. Um eine gute Energieversorgungsqualität zu erreichen ist ein Energiemanagement bei solchen Konstellation eine benötigte Voraussetzung. Dieses entscheidet anhand der aktuellen Betriebsgrößen (Wirklast, Windgeschwindigkeit, Lastzustand des Speichers usw.) nach wirtschaftlichen, technischen und ökologischen Kriterien darüber, welcher Energiewandler sinnvoll einzusetzen ist, um die benötigte Energie zu liefern. Des Weiteren soll das Energiemanagement mit Hilfe einer Last- und Windangebotsprognose Ereignisse prognostizieren und entsprechend den Energieversorgungsplan auf langfristigerer Basis gestalten. Das Energiemanagement sorgt darüber hinaus für einen automatischen Betrieb der Gesamtanlage /30/.

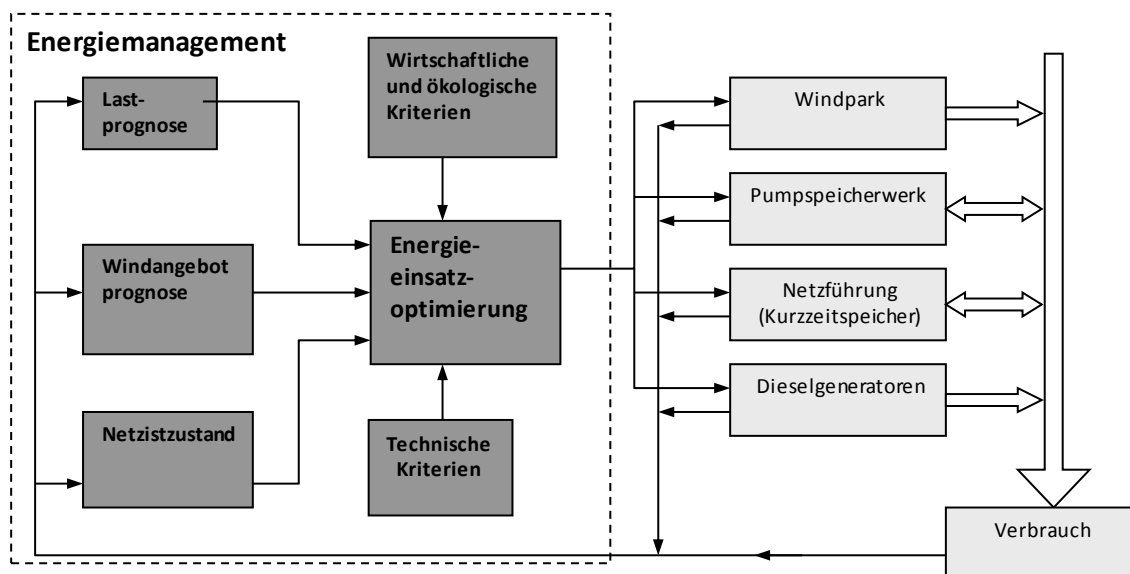


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung des Energiemanagements nach /30/

Ein Energiemanagementsystem benötigt einen Informationsfluss, der die in Abbildung 3-2 dargestellte Struktur zu funktionieren erlaubt. Er steht auf drei Säulen: Anlagen, Verträge und Verbräuche. Jede Säule besteht aus bestimmten Parametern, die manuell oder automatisch abgelegt werden, und die die Optimierungs- und Planungsstrategien unbedingt brauchen. Die Online-Anwendung des Energiemanagementsystems erfordert aktuelle Messwerte, die häufig in kurzen Zeiträumen (1 s - 15 Min) genommen werden. Eine neue Berechnung für die Anlage wird auch gleichzeitig vorgenommen. Zusätzlich werden Prognosen, die sowohl den vom System vorhergesagten bzw. gewünschten Anlagenein-



satz als auch die Verbrauchsschätzung enthalten, noch einbezogen. Danach wird beispielsweise die Erzeugung unter Berücksichtigung der Umweltbedingungen geplant.

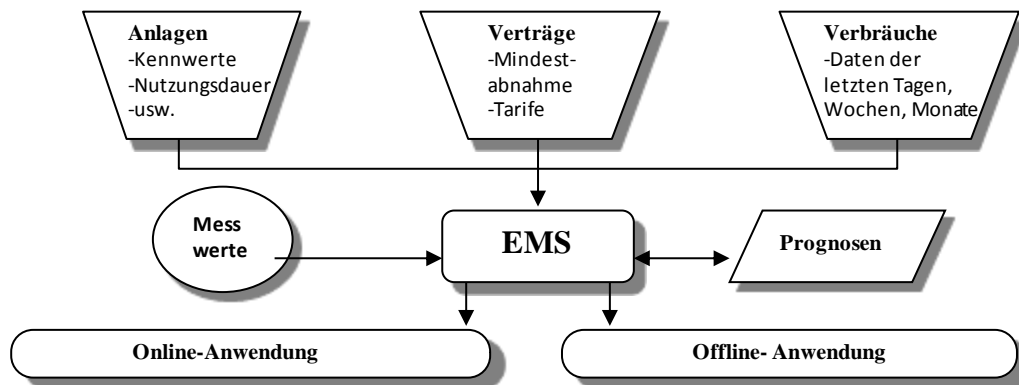


Abbildung 3-2: Informationsfluss in einem Energiemanagementsystem /31/

Aus Prognosen werden die Optimierungs- und Planungsstrategien erstellt. Im Allgemeinen sind diese in drei Gruppen verteilt:

- **Langzeiteinsatzoptimierung (langfristige Systemplanung):**  
Dies läuft offline. Beispielsweise spielt sie bei einer vorhandenen Anlage eine große Rolle, um Planungsaufgaben für Erweiterungen durchzuführen, Umweltkosten zu schätzen, oder Jahresenergie- und Kostenbilanz aufzustellen. Das heißt, die eigentliche Planung des optimalen Systembetriebs ist noch die langfristige Planung mit Fragen der Ausbau- und Revisionsplanung und der Gestaltung von Energiebezugsverträgen überlagert. Sie wird benötigt z.B. zur Brennstoffbestellung, Preisstrukturuntersuchung, usw. Man braucht unbedingt dafür die Daten einer Anlage aus den letzten Jahren.
- **Mittelfristige Einsatzoptimierung (mittelfristige Energieeinsatzplanung):**  
Sie umfasst Betrachtungszeiträume von mehreren Wochen bis ca. 15 Monaten und ermittelt Sollenergiemengenvorgaben der einzusetzenden Primär- und Sekundärenergieträger, sowohl für den gesamten Betrachtungszeitraum, als auch insbesondere für Teilzeiträume beispielsweise in der Form von Monats-, Wochen- oder Tagesenergiemengen /32/.
- **Tageseinsatzoptimierung (kurzfristige Kraftwerkseinsatzplanung):**  
Ein Tageseinsatzplan der vorhandenen Anlagen wird für jeden Tag (bis jede Woche) ermittelt. Die Verbrauchsprognosen, die Wettervorhersagen, die aktuellen und vergangenen Messwerte und andere benötigte Daten der verfügbaren Anlagen werden ausgenutzt. In der Berechnung fließen aber noch weitere Werte mit ein.

- **Momentaneinsatzoptimierung (momentane Lastaufteilung):**

Ein Abgleich zwischen dem Ist-Zustand und dem optimalen Zustand aller laufenden und auch verfügbaren Anlagen findet in kurzen Zeitabständen (meistens 15 min) statt. Es sollte möglich sein, wenn notwendig, eine weitere Anlage zusätzlich oder als Ersatz für eine oder mehrere andere anzufahren.

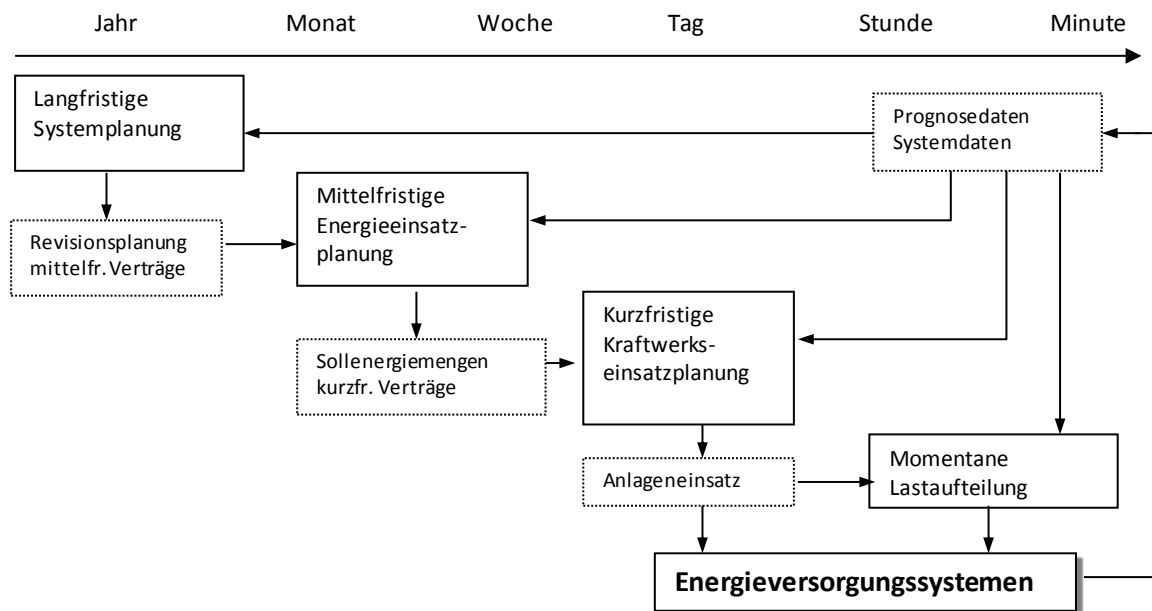


Abbildung 3-3: Stufen der Betriebsplanung von Energieversorgungssystemen /33/

Bei der Dispatching des Energieflusses hat ein Energiemanagementsystem immer mehr Flexibilität gebraucht. Aus diesem Grund bleibt der Energiespeicher eine wichtige Komponente im gesamten System. Die Bereitstellung und Aufnahme kurzfristig benötigter Leistung prägen die Aufgaben von elektrischen Energiespeichern. Führt eine Abweichung von einer ausgeglichenen Bilanz der Erzeugung und des Bedarfs der Verbraucher zu einer Beeinträchtigung der Versorgungsqualität und -zuverlässigkeit im Versorgungssystem, ist eine kurzfristige Leistungsbereitstellung oder -aufnahme immer erforderlich. Abbildung 3-4 zeigt schematisch ein Speichersystem, wobei ein Unterschied zwischen „Speicherbehälter“ und anderen Komponenten des Speichersystems gemacht wird. Bis heute gibt es verschiedene Technologien zur Speicherung elektrischer Energie. Die Speicherung elektrischer Energie erfolgt vorrangig indirekt über Umwandlung in eine andere Energieform.

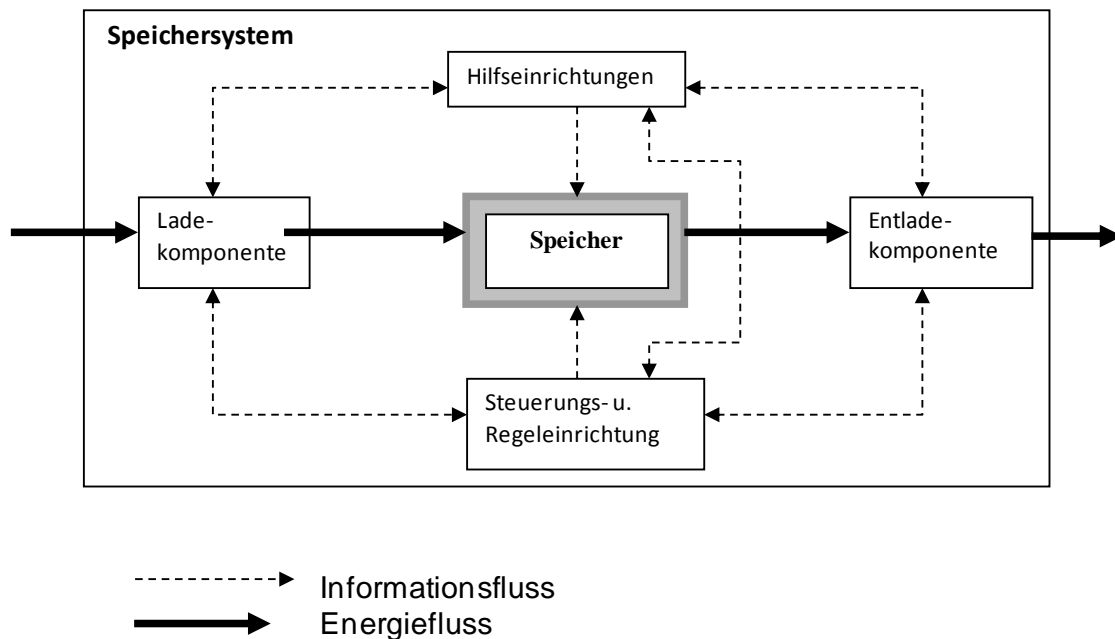


Abbildung 3-4: Abgrenzung Speicher/Speichersystem /34/

### 3.1 Ausbauperspektiven für Erneuerbare Energien

Für das modifizierte Szenario zur Ausbauentwicklung der Windenergie Onshore inklusive Repowering für die Jahre 2015 und 2020 hat die dena-Netzstudie II auf Basis der für die dena-Netzstudie I ermittelten Werte (siehe hierzu /3/) folgende Ansätze gewählt /16/:

- Für alle Bundesländer wurde ein Flächenbedarfswert von 7 ha/MW angenommen
- Der in der dena-Netzstudie I angenommene pauschale Abzug von 20% auf das Restpotenzial ab 2004 (aufgrund verschiedener Restriktionen) entfällt in der vorliegenden Ermittlung; damit wird im Sinne einer grundsätzlich optimistischen Ausbauerwartung berücksichtigt, dass bestehende Hemmnisse (z.B. Höhenbeschränkungen und restriktive Abstandsregelungen) mittelfristig beseitigt werden können
- Das Repowering-Potenzial bleibt gegenüber der dena-Netzstudie I unverändert

Im Offshore-Bereich wurden insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt /16/:

- bereits entstandene zeitliche Verzögerungen beim Offshore-Ausbau
- Veränderung der aktuellen rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen
- Ergebnisse aktueller Studien zur Bewertung der Marktsituation
- Technologieentwicklung

- aktuelle Planungs- und Genehmigungssituation

Unter den oben erwähnten Annahmen prognostiziert die dena-Netzstudie II das folgende Windausbauszenario:

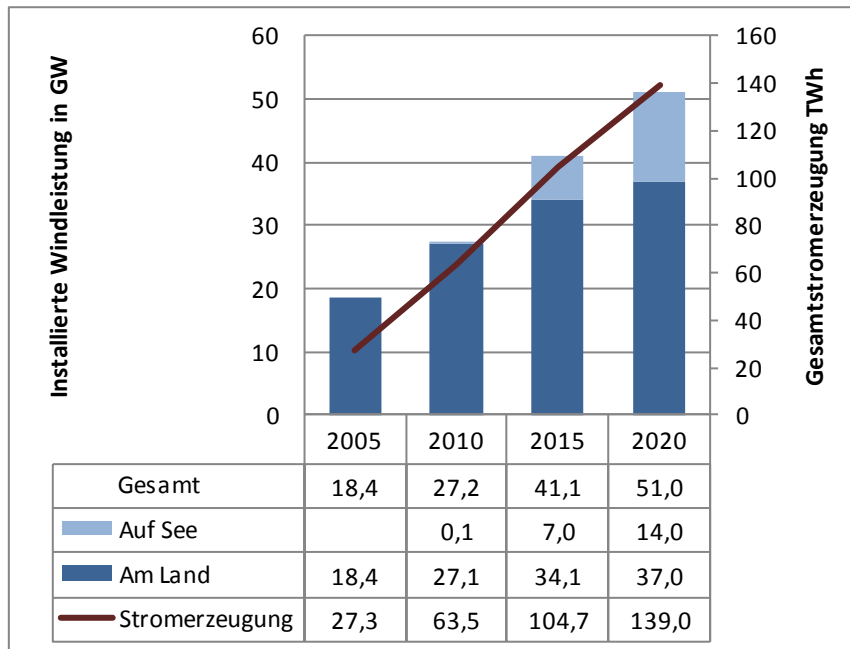


Abbildung 3-5: Entwicklung der installierten Windenergieleistung in Deutschland bis zum Jahr 2020 in GW /16/

An Land wird ein Anstieg der installierten Windenergieleistung bis zum Jahr 2015 auf 34,1 GW und auf See auf 7 GW prognostiziert. Bis 2020 sind an Land 37 GW und auf See 14 GW zu erwarten. Das „Repowering“ der vorhandenen Anlagen, der zunehmende Ersatz alter Anlagen durch leistungsfähigere Windenergieanlagen, und die Erschließung ertragreicher Standorte in Nord und Ostsee (offshore Anlagen) verursacht den Anstieg der durchschnittlichen Volllaststundenzahl der Windenergieanlagen um etwa 15%. Die durchschnittliche Onshore-Volllaststundenzahl steigt schon im Jahr 2007 auf 1.870 h/a und im Jahr 2020 auf 2.151 h/a. Wird hierzu noch die Offshore Windenergie hinzugefügt, ergibt sich eine Volllaststundenzahl von 2726 h/a. Im Rahmen des Ausbaus der Windenergie an Land und auf See steigt die durchschnittlich eingespeiste Energiemenge von 23,5 TWh/a im Jahr 2003 auf 139 TWh/a im Jahr 2020. Durch diese Prognosedaten wird deutlich, dass die Netzintegration von Windenergie neue Herausforderungen an das elektrische Verbundsystem stellt /16/

### **3.2 Konzeption des Managementsystems**

Ein wichtiger Problemaspekt des zukünftigen deutschen Energieversorgungssystems entsteht durch den Ausbau der Windenergie und die Abschaltung einiger konventioneller Kraftwerke. Wie bereits in den anderen Studien erläutert wurde, wird im Abschlussbericht „NNE- Pumpspeicher“ von DENA erneut betont, dass Zeiträume mit einem Energieüberschuss in den kommenden Jahren zu erwarten sind. Zum Ausgleich zwischen Erzeugung und Last müssen weitere Maßnahmen durch Export, zusätzliche Speicher und Lastmanagement ergriffen werden. Eine kritische Situation entsteht bei Starkwind und Schwachlast, wobei der Leistungsüberschuss 9,1 GW im Jahr 2015 und 14 GW im Jahr 2020 erreichen kann (Abbildung 1-1).

Um das Problem aus energietechnischer Sicht besser zu analysieren und die Einsatzmöglichkeiten der Pumpspeicherwerke unter Tage zu bewerten, wurde ein Szenario aus Archiv-, Prognose-, und Simulationsdaten entwickelt. Das Szenario basiert auf die Prognosedaten 2020 aus unterschiedlichen Forschungseinrichtungen, die im Rahmen der DENA Studie zusammengearbeitet haben /16/. Über die Stromnachfrage wurden drei Szenarien vorgeschlagen und analysiert: die steigende, die stagnierende und die sinkende Stromnachfrage.

Nach Analyse der Lastdaten aus ENTSO ist eine Absenkung von ca. 8 GW zwischen 2007 und 2009 zu bemerken (Abbildung 3-6). Wenn die Energiesparmaßnahmen wie die Energieeffizienz richtig eingesetzt werden, ist als direkte Konsequenz eine Senkung der Stromnachfrage in Deutschland zu erwarten (minus 10% nach /16/). Aus diesem Grund wird es im hier entwickelten Szenario einen Vorzug an der sinkenden Stromnachfrage gegeben.

Nach /16/ und den Daten vom Jahr 2009 wird die Stromnachfrage ca. rund 65 GW als maximale Leistung im Jahr 2020 erreichen. Mit der hier gegebenen Information wird nur die Spitzlast mitgeteilt. Um die Zeitreihe der Stromnachfrage zu generieren ist notwendig, eine Lastkurve in der Zeitreihe zu betrachten, und die entsprechend zugehörige Spitze auf rund 65 GW zu reduzieren. Diese Generierung der Stromnachfragezeitreihe durch Unterskalierung einer aktuellen Jahreslastkurve ist gemäß einem der drei DENA Szenarien: die sinkende Stromnachfrage. Als Last werden die Lastdaten aus dem Jahr 2009 mit einer Absenkung von 10 % berücksichtigt.

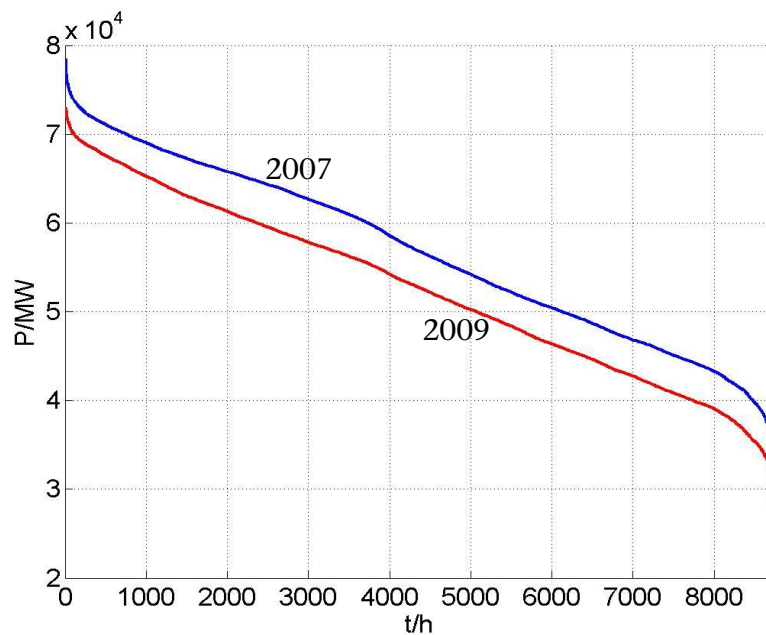


Abbildung 3-6: Lastdauerlinie Jahr en 2007 und 2009 aus Archivdaten der ENTSO1

Von der Erzeugungsseite sollte das Szenario die Änderung der Kraftwerkkonstellation im deutschen Energieversorgungssystem betrachten, da sich durch den Ausbau der Windenergie eine veränderte Kraftwerkeinsatzplanung erfolgt.

Die Einspeiseleistungen aus der im Jahr 2020 zu erwartenden Windenergie wurde in /16/ Onshore ca. 37 GW und offshore ca. 14 GW prognostiziert.

Leistungsdaten der Onshore Windparks im Jahr 2009 wurden aus dem BDEW Archiv genommen und danach auf 37 GW für Onshore Windenergieeinspeisung hoch skaliert.

Während der Projektlaufzeit gab es keine ganzjährigen archivierten Leistungsdaten von offshore Windenergieeinspeisung in Nord- oder Ostsee. Aus diesem Grund wurden Windparks in der Nordsee simuliert, um realitätsnahe Daten zu erzeugen. Mit der Hilfe von verfügbaren Messdaten (Jahr 2009) aus der Messstation FINO1 in der Nordsee konnten die Leistungsdaten aus offshore Windparks generiert werden.

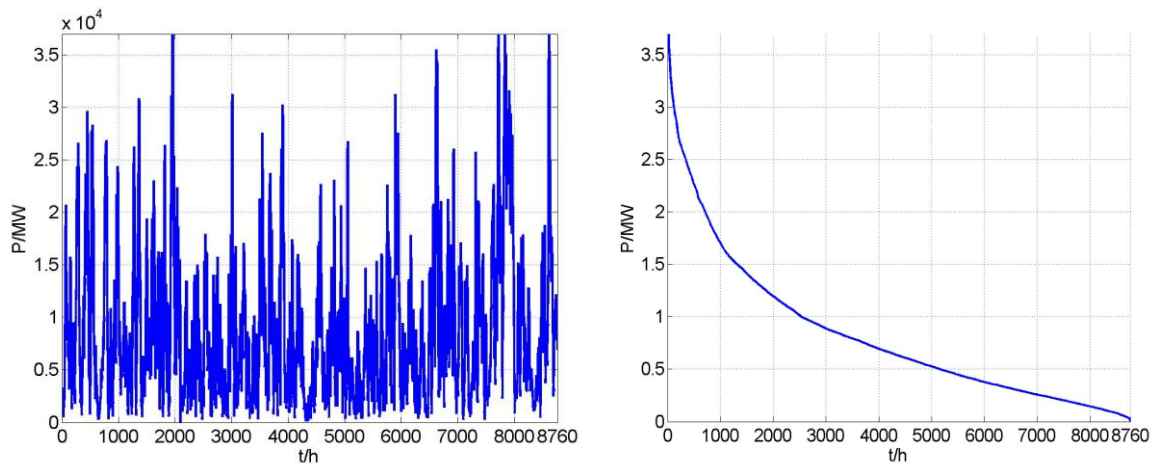


Abbildung 3-7: Jährliche Leistungsdaten vom Onshore Windpark und entsprechende Dauerlinie die im Szenario verwendet wurden. Sie sind Daten aus dem Jahr 2009 auf 37 GW hoch skaliert.

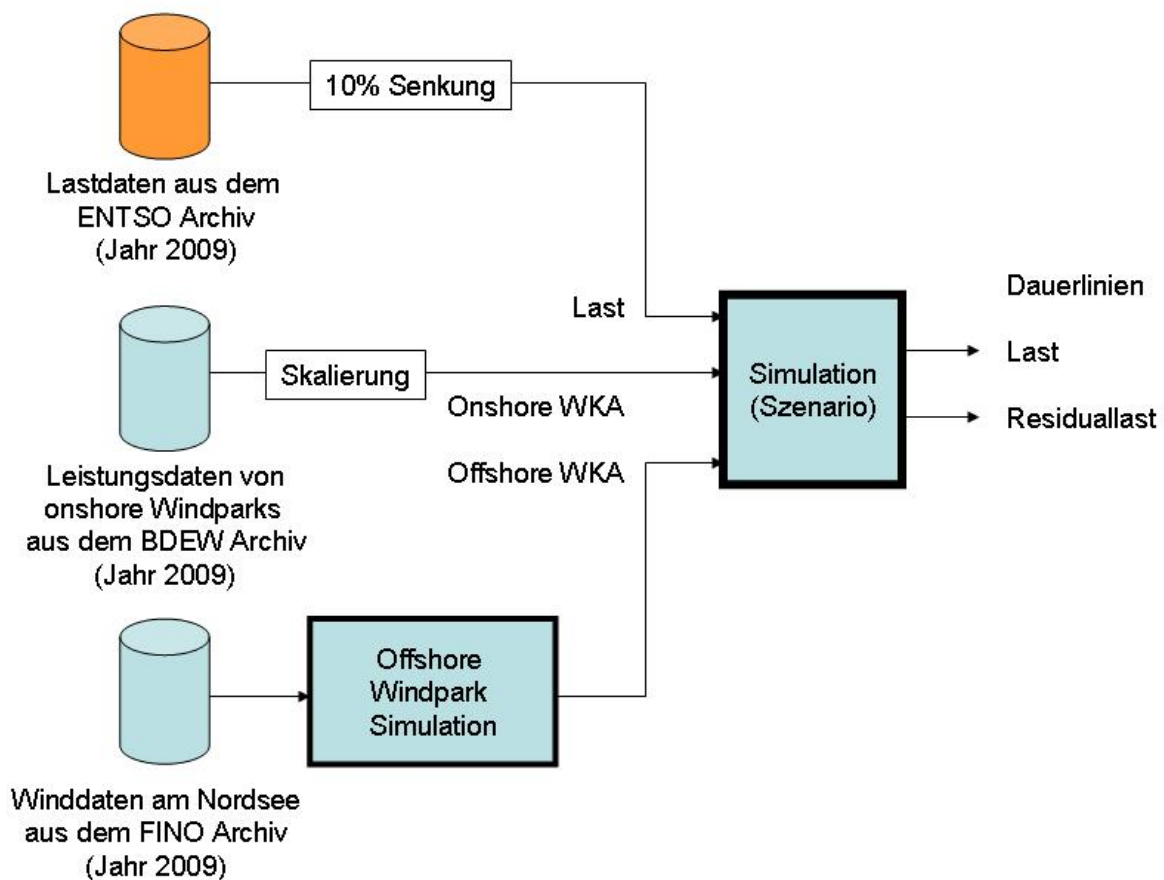


Abbildung 3-8: Schematische Darstellung des Szenarios: Die Eingangsdaten kommen aus Datenbanken. Einige Daten wurden nach Annahmen des Szenarios skaliert. Durch die offshore Windpark Simulation wurden die nicht vorhandenen Offshore-Winddaten erzeugt. Nach der Ausführung des Szenarios wurden die Last- und Residuallastdauerlinien generiert. Das Ergebnis stellt die Nachbildung einer möglichen zukünftigen Änderung der Kraftwerkeinsätze dar.

### **3.3 Offshore Windpark**

Um eine Abschätzung der Leistungsabgabe eines offshore Windparks zu ermöglichen, wurde eine möglichst exakte Nachbildung eines entsprechenden offshore Windparks in dem Simulationstool MATLAB/ Simulink aus einer vorhandenen Simulation /1/ neu konzipiert, realisiert und durchgeführt.

#### **3.3.1 Beschreibung der Simulation**

Bei der Entwicklung wurde besonderer Wert auf das Zusammenspiel der 20 Testanlagen eines offshore Windparks gelegt, wobei auch die geografischen Lagen der Einzelanlagen zueinander mit berücksichtigt wurden. Aus diesem Grund ist es nicht ausreichend, die Leistungsabgabe von nur einer Anlage zu simulieren, um anschließend mit einem Multiplikationsfaktor auf die Leistungsabgabe des gesamten offshore Windparks zu schließen. Vielmehr muss die räumliche und zeitliche Veränderung der Windgeschwindigkeit innerhalb des Windparks in das Simulationsmodell Einfluss finden. Anhand der folgenden Abbildung kann erkannt werden, dass hierfür jede Windanlage einzeln simuliert und für jeden Standort ein eigenständiges Windprofil ermittelt wird.

Die Abbildung 3-9 zeigt nur einen Teil des vollständigen Simulink-Modells, welches aufgrund von Umfangsbeschränkungen der verwendeten MATLAB-Software aufgeteilt werden musste. Rot markierte Simulationsblöcke weisen darauf hin, dass diese im Folgenden noch genauer dargestellt werden. Als Eingangsgrößen werden das bereit gestellte Windprofil, welches tageweise zur Verfügung steht, und die geografischen Abstände, die sich aufgrund der Windparkgeometrie ergeben, verwendet. Die Grundlage für die Bestimmung der einzelnen Windprofile bilden die abgebildeten Totzeit-Glieder, die aus den Abständen und der vorherrschenden Windgeschwindigkeit Laufzeitunterschiede berechnen.

Diese können bereits bei den geringen Abständen ( $< 2,6$  km) innerhalb des Windparks und bei geringen Windgeschwindigkeiten ( $< 10$  m/s) mehrere 100 Sekunden betragen. An dieser Stelle wird die Vereinfachung getroffen, dass die Messung des Windprofils an der Windanlage WEA\_3.1 durchgeführt wurde, sodass für diese Anlage kein Totzeitglied vorhanden ist; Es wäre auch denkbar gewesen, den Abstand zwischen Windpark und Messstation mit in die Simulation einfließen zu lassen. Dieses hätte aber zu einem unverhältnismäßig hohen Mehraufwand an Rechenleistung bei nur einem geringfügigen Informationsgewinn geführt. Zentrales Element dieser Simulation ist die Bestimmung der Leis-



tungsabgabe und ihre Gradienten. Für diese stellt der Laufzeitunterschied, welcher durch den Abstand des Windparks zur Messstation hervorgerufen wird, einen vernachlässigbaren Einfluss dar, da dieser an allen Anlagen im gleichen Maß auftritt und somit nicht zur einer Vergleichmäßigung der Leistungsabgabe oder generell einer Veränderung der Leistungsgradienten führen würde.

Zur Erzeugung der Windprofile wird eine laminare, instationäre Strömung angenommen. Ausgehend von dieser Annahme ergibt sich ein Strömungsfilm, dessen Geschwindigkeit und Richtung sich zwar ändern kann, dessen Stromlinien sich aber zu keinem Zeitpunkt kreuzen dürfen. Diese Bedingung kann nur erfüllt werden, wenn die Windrichtung in jedem Punkt des Windparks gleich ist (Abbildung 3-10). Es kann dementsprechend zu keiner Änderung der Leistungsabgabe des Windparks aufgrund von unterschiedlichen Windrichtungen an den einzelnen Anlagen kommen. Diese Annahme stellt eine Vereinfachung der Realität dar, da mögliche Turbulenzen und die Kompressibilität der Luft vernachlässigt werden.

Dagegen erlaubt die Theorie unterschiedliche Windgeschwindigkeiten an verschiedenen Orten. So tritt eine kurzfristige Überhöhung der Geschwindigkeit nicht an allen Anlagen gleichzeitig auf, sondern „schiebt“ sich langsam durch die Geometrie des Windparks. Hierdurch kann es zu einer erheblichen Vergleichmäßigung der Leistungsabgabe kommen, da sich Brisen und Flauten innerhalb des Windparks bei der Leistungsabgabe gegenseitig kompensieren können. Des Weiteren hat die Auswertung der Winddaten, die auf der Messstation FINO 1 gemessen wurden, ergeben, dass sich eine deutliche Vorzugswindrichtung aus Richtung Süd-West am Aufstellungsort des Windparks einstellen wird. Diese Zusammenhänge sind auch in Abbildung 3-10 zu erkennen.

Neben der zuvor genannten Vereinfachung, welche eine Verschiebung der Messstation darstellt, musste für die Verwendung der Totzeitglieder und aus dem Grund, dass das Simulink-Modell auf einer numerischen Simulation beruht, die schrittweise und chronologisch arbeitet, eine fixe Windrichtung angenommen werden. Diese wurde entsprechend Abbildung 3-10 und unter Berücksichtigung erster Auswertungen der Windprofile, welche durch die Messstation FINO 1 bereitgestellt wurden, auf einen Winkel von  $\alpha=45^\circ$  eingestellt.

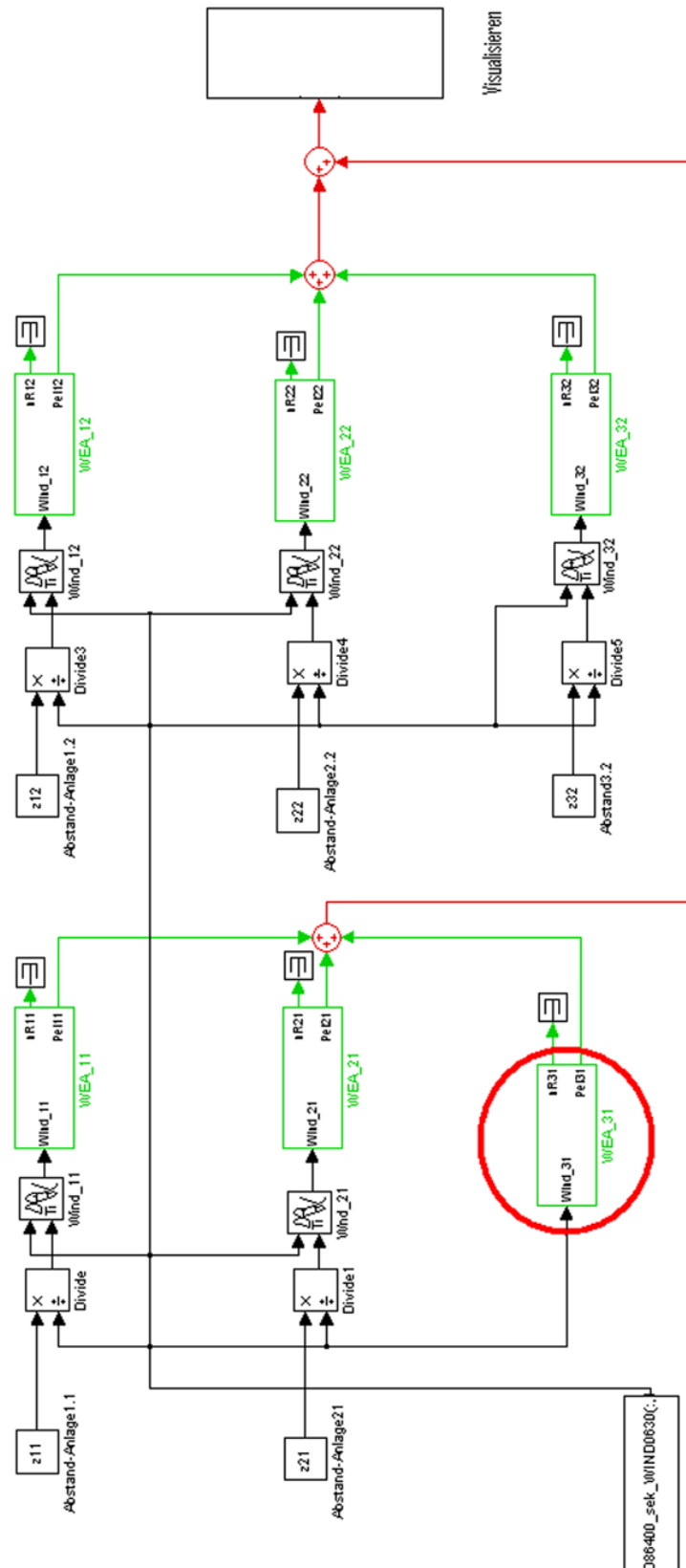


Abbildung 3-9: Verwendetes Simulink-Modell. Ein Teil des vollständigen Modells: Dargestellt ist die Simulation von sechs Anlagen.

Würde man dagegen auch andere z. B. eine entgegengesetzte Windrichtungen zu-lassen, würde zuerst der gesamte Windpark von dieser Windfront überstrichen bevor sie die Windanlage WEA\_3.1 und damit die Windmessung erreicht. Dieses müsste folgerichtig zu negativen Laufzeiten führen. Weder negative Totzeiten noch eine Veränderung zurückliegender und bereits verarbeiteter Zeitschritte werden durch die verwendete Software zugelassen.

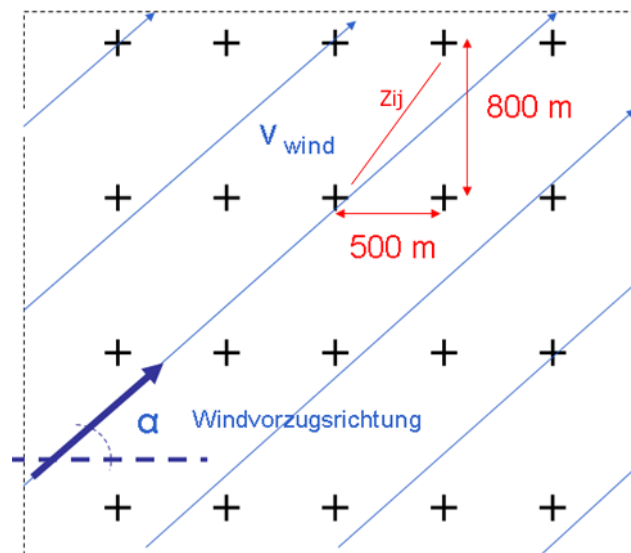


Abbildung 3-10: Angenommene Strömungsverhältnisse mit Vorzugswindrichtung und für die Simulation notwendige Abstandsangaben

Des Weiteren erzeugt diese Veränderung einen akzeptierbaren Fehler. Eine direkte Beeinflussung aufgrund von unterschiedlichen Windrichtungen und insbesondere schnellen Windrichtungswechseln kann durch die Annahme einer laminaren Strömung ausgeschlossen werden. Dementsprechend wirkt sich diese Vereinfachung ausschließlich auf die Berechnung der Laufzeiten aus, jedoch ist dieser Einfluss nur gering. Die prinzipielle Beeinflussung ist in Abbildung 3-11 dargestellt:

Abbildung 3-11 stellt dar, wie sich eine Veränderung der Windrichtung auf die Laufzeiten auswirken würde: Der geografische Abstand muss durch den Weg, der durch eine Stromlinie vorgegeben wird, ersetzt werden und verlängert sich entsprechend. So würde eine Windrichtungsänderung von  $5^\circ$  bei einem geografischen Abstand von 1 km zu einer Verlängerung von 3,8 m führen. Dieses entspricht bei einer typischen Windgeschwindigkeit von 10 m/s einer Veränderung des Laufzeitunterschiedes von 0,38 s, was bezogen auf den absoluten Wert einen nicht signifikanten Fehler darstellt.

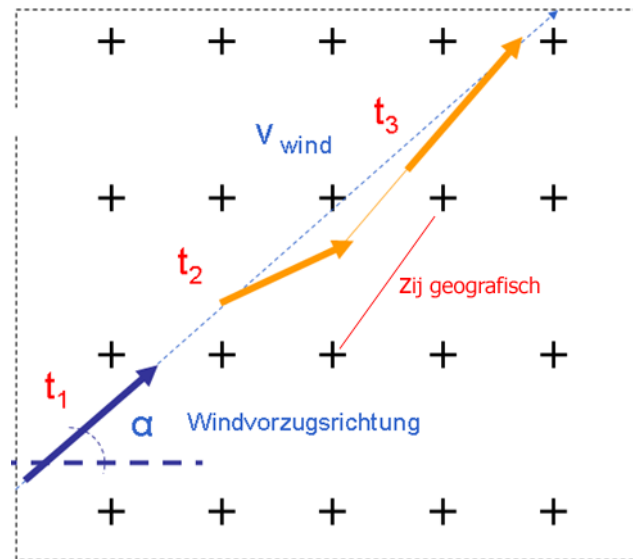


Abbildung 3-11: Prinzipieller Einfluss der Windrichtung auf die berechneten Laufzeitunterschiede

Weiterhin wird in diesem Modell die Veränderung des Windprofils durch die Anlagen selbst nicht berücksichtigt. Hinter jeder Anlage bildet sich eine kegelförmige Nachlaufströmung, die mit größer werdendem Abstand geringer wird, sodass sich schließlich erneut Strömungsverhältnisse einstellen, wie sie vor der Anlage geherrscht haben. Bei der festgestellten Windvorzugsrichtung und den geometrischen Abständen der Anlagen ergibt sich ein Abstand von  $z_{ij} = \sqrt{500^2 m^2 + 800^2 m^2} \approx 945 m$ . Berücksichtigt man gleichzeitig, dass eine 5MW-Anlage einen Rotorradius von ca.  $D=125 m$  besitzt, ergibt sich ein Verhältnis  $z_{ij}/D$  von 7,5. Dieses entspricht einer typischen Auslegung von Windparks, sodass die gegenseitige Beeinflussung nur gering ausfallen wird und diese Vereinfachung einen hinnehmbaren Fehler erzeugt.

Zur genaueren Beschreibung des Modells soll im Folgenden die Simulation der Einzelanlagen näher beschrieben werden. Hierfür wird das Simulationsmodell, welches durch den Block WEA\_3.1 symbolisiert wird, in Abbildung 3-12 dargestellt.

Abbildung 3-12 lässt die prinzipielle Struktur der hinterlegten Regelung gut erkennen. Mit Hilfe des „Subsystems1“, welches in der noch folgenden Abbildung wiedergegeben wird, wird aus der eingelesenen Windgeschwindigkeit die abgegebene Rotorleistung berechnet.

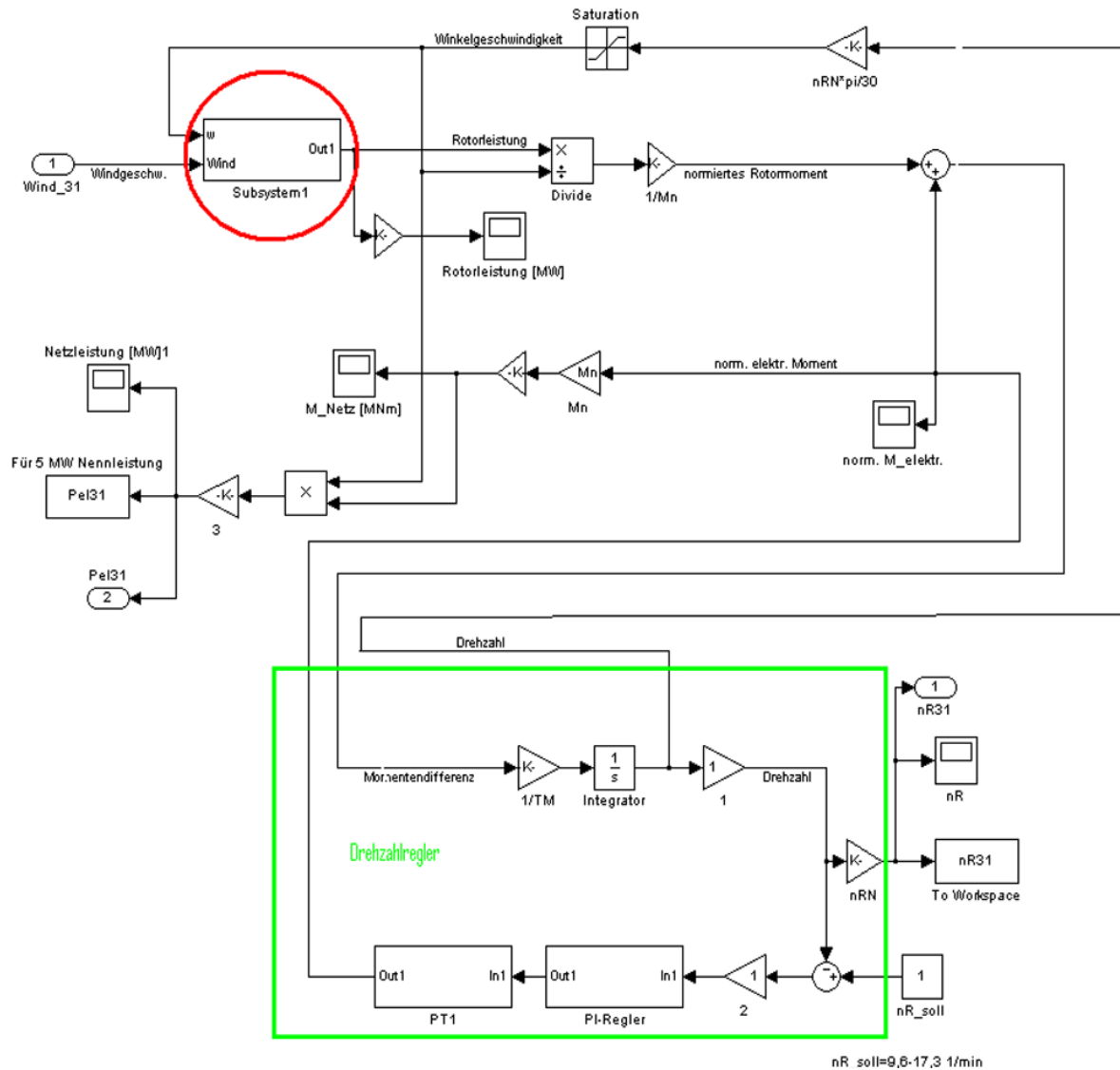


Abbildung 3-12: Subsystem aus Abbildung 3-9: Simulationsmodell der Windkraftanlage WEA3\_1

Aus dieser wird anschließend mit Hilfe der Winkelgeschwindigkeit nach der Formel

$$P_{Rot} = M_{Rot} \cdot \omega_{Rot} \quad \rightarrow \quad M_{Rot} = \frac{P_{Rot}}{\omega_{Rot}}$$

$$P_{Rot} = \text{Rotorleistung}$$

$$M_{Rot} = \text{Rotormoment}$$

$$\omega_{Rot} = \text{Winkelgeschwindigkeit} \quad (1)$$

das Rotormoment errechnet und durch Division mit dem Nennmoment normiert. Von diesem normierten Rotormoment wird das elektrische Moment des Generators subtrahiert, um das Differenzmoment zu bestimmen, welches zu einer Drehzahländerung beiträgt. Die verursachte Drehzahländerung wird unter Verwendung der Zeitkonstanten des

Gesamtsystems bestimmt, die das Massenträgheitsmoment enthält und nach folgender Formel berechnet wird:

$$T_M = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot J_R \cdot n_R^2}{3600 \cdot P_{nenn} \cdot 10^6}$$

$J_R = \text{Massenträgheitsmoment}$

$P_{nenn} = \text{Nennleistung}$

$n_R = \text{Drehzahl}$  (2)

Diese normierte Drehzahländerung wird integriert und somit auf die absolute, normierte Drehzahl geschlossen, welche an die überlagerte Simulation ausgegeben wird. In einem weiteren Schritt wird die aktuelle Drehzahl mit der eingestellten Nenndrehzahl verglichen und die errechnete Differenz auf den Maschinenregler gegeben. Dieser ist als PI-Regler mit symmetrischem Optimum ausgeführt und wirkt direkt auf das elektrische Maschinensystem, welches als PT1-Glied nachgebildet wird. Hierdurch entsteht als Ausgangsgröße das elektrische Gegenmoment, welches durch den Generator aufgebracht wird. Eine Multiplikation dieser Größe mit der mechanischen Winkelgeschwindigkeit ergibt die erzeugte elektrische Leistung, welche ebenfalls an die überlagerte Simulation übergeben.

Einen Einblick in das Subsystem1, welches aus der Windgeschwindigkeit die mechanische Leistung ermittelt, gibt Abbildung 3-13 wieder:

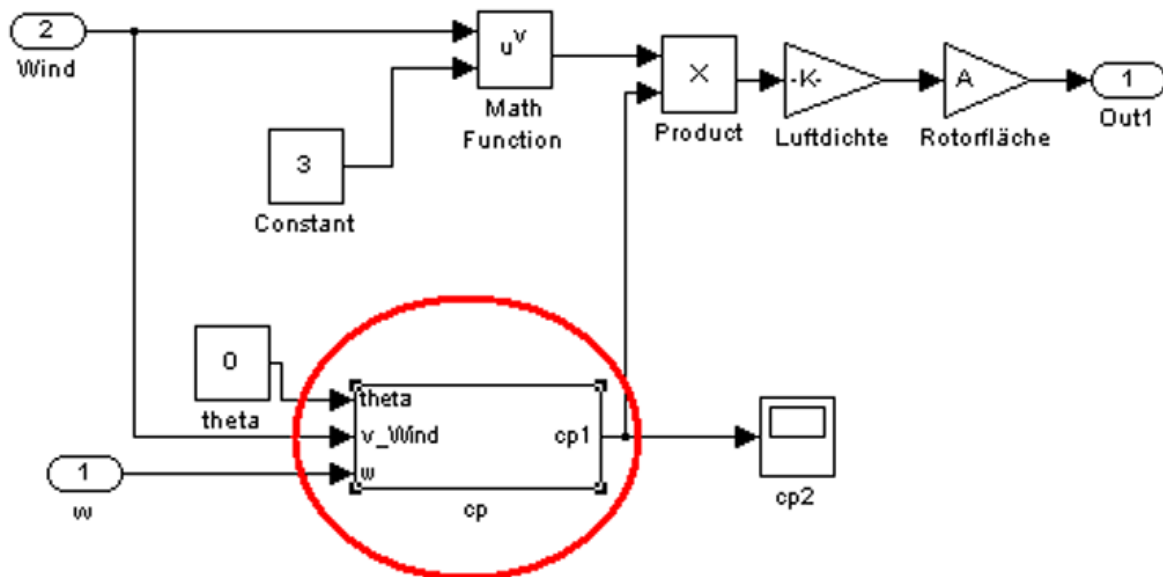


Abbildung 3-13: Subsystem aus Abbildung 3-12 zur Bestimmung der mechanischen Leistung

Abbildung 3-13 zeigt, wie aus der Windgeschwindigkeit mit Hilfe der Formel

$$P_{Wind} = C_P \cdot \rho_{Luft} \cdot A_{Rotor} \cdot v_{Wind}^3$$

$$P_{Wind} = \text{mechanische Rotorleistung}$$

$$C_P = \text{Leistungsbeiwert}$$

$$\rho_{Luft} = \text{Luftdichte}$$

$$A_{Rotor} = \text{Rotorfläche}$$

$$v_{Wind} = \text{Windgeschwindigkeit} \quad (3)$$

die mechanische Rotorleistung ermittelt werden kann. Zusätzlich wird dem Subsystem die Winkelgeschwindigkeit zugeführt, da diese für die  $C_P$ -Berechnung notwendig ist.  $C_P$  bezeichnet den Leistungsbeiwert, welcher über folgende Näherungsformel nach /7/ bestimmt werden kann:

$$C_P(\lambda, \theta) = 0,5 \cdot \left( 116 \cdot \frac{1}{\lambda} - 0,4 \cdot \theta - 5 \right) \cdot e^{-21 \frac{1}{\lambda}}$$

$$\lambda = \text{Schnelllaufzahl}$$

$$\theta = \text{Blatteinstellwinkel}$$

(4)

Das Symbol  $\theta$  steht hierbei für den Blatteinstellwinkel und wird für die Berechnung wie auch für Auslegungszwecke zu Null abgenommen. Diese Berechnungsvorschrift ist in folgendem Subsystem umgesetzt worden:

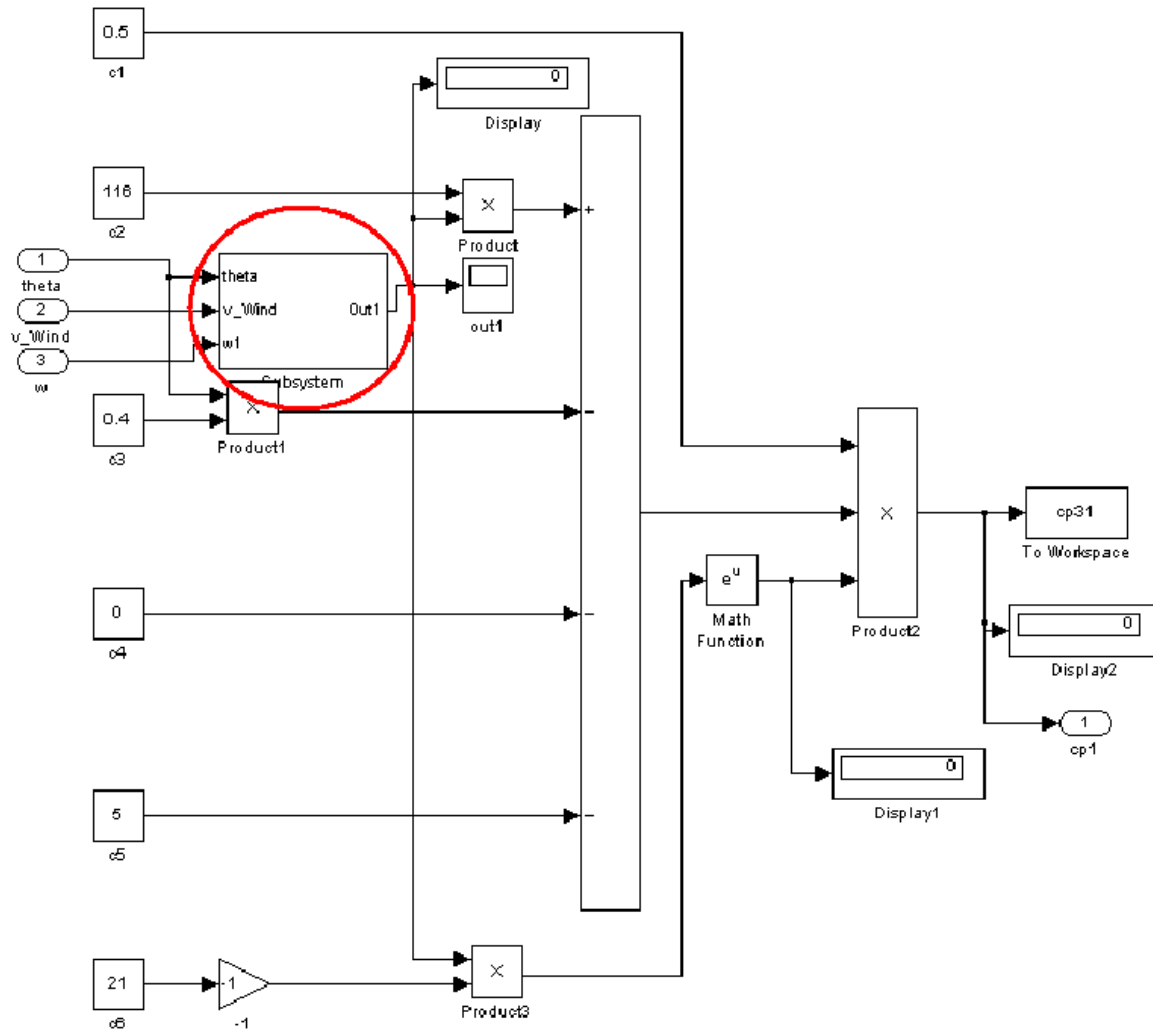


Abbildung 3-14: Subsystem aus Abbildung 3-13: Simulink-Modell zur  $C_p$ -Berechnung

Die Berechnung der Hilfsvariablen  $\frac{1}{\Lambda}$  ist in einem weiteren Subsystem umgesetzt worden und entspricht folgender Berechnungsvorschrift:

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{\lambda + 0,08 \cdot \theta} - \frac{0,035}{1 + \theta^3}$$

(5)



$\lambda$  bezeichnet hierbei die Schnelllaufzahl und gibt das Verhältnis aus Umfangsgeschwindigkeit der Rotorblätter und der Windgeschwindigkeit an. Auch dieses Subsystem soll abschließend dargestellt werden.

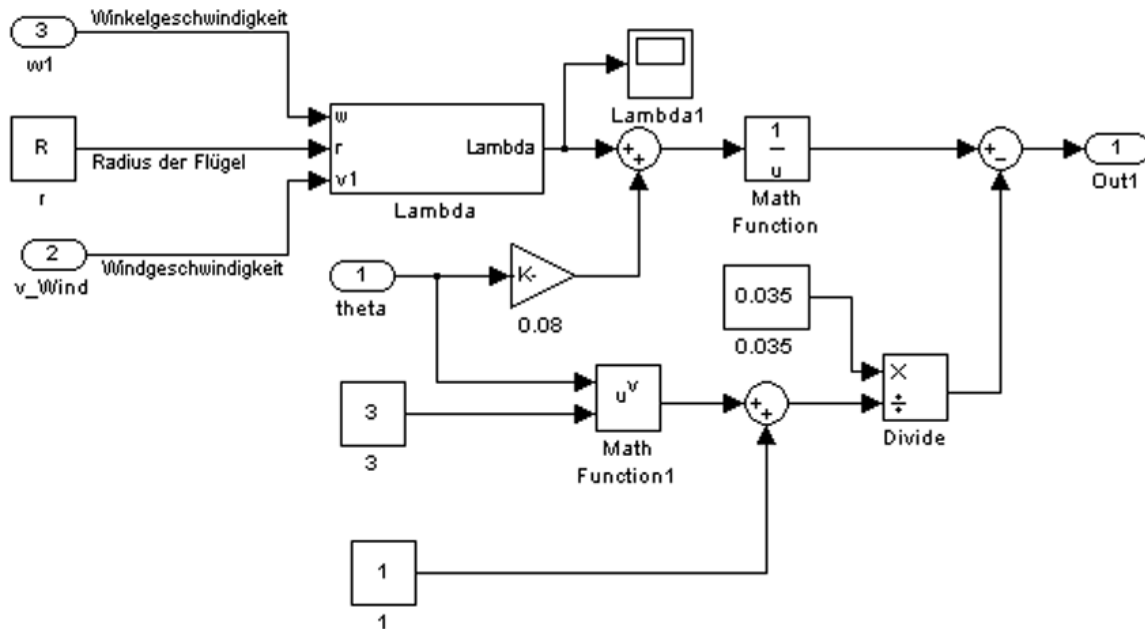


Abbildung 3-15: Subsystem aus Abbildung 3-14 zur Berechnung der Hilfsvariablen  $1/\Lambda$

Mit Hilfe dieses Modells wird im folgenden Abschnitt die Leistungsabgabe des Windparks ermittelt.

### 3.3.2 Ergebnis der Simulation

Die Windgeschwindigkeit ist die Haupteingangsgröße in der Simulation. Die Leistungsabgabe wurde durch die im vorherigen Abschnitt vorgestellte Formel berechnet. Die Simulationsparameter, wie die Abstände zwischen Windkraftanlagen, die Windrichtungen, die Geometrie der Windkraftanlagen, usw. führen zum realitätsnahen Ergebnis.

Nach der Reduktion der Last auf 10% gemäß dem Energiekonzept 2010 /16/ wurden ca. 14 GW Leistung aus Offshore Windkraftanlagen und ca. 37 GW Leistungen aus Onshore Windkraftanlagen von der neuen berechneten Last abgezogen. Daraus ergibt sich eine explizite Residuallast, die nicht immer positiv ist. Das Ergebnis zeigt deutlich den erwarteten Energieüberschuss als Konsequenz des Ausbaus der Windenergie in Deutschland (Planmäßig 2020). Dies benötigt entsprechende Maßnahmen, wie bereits erwähnt.

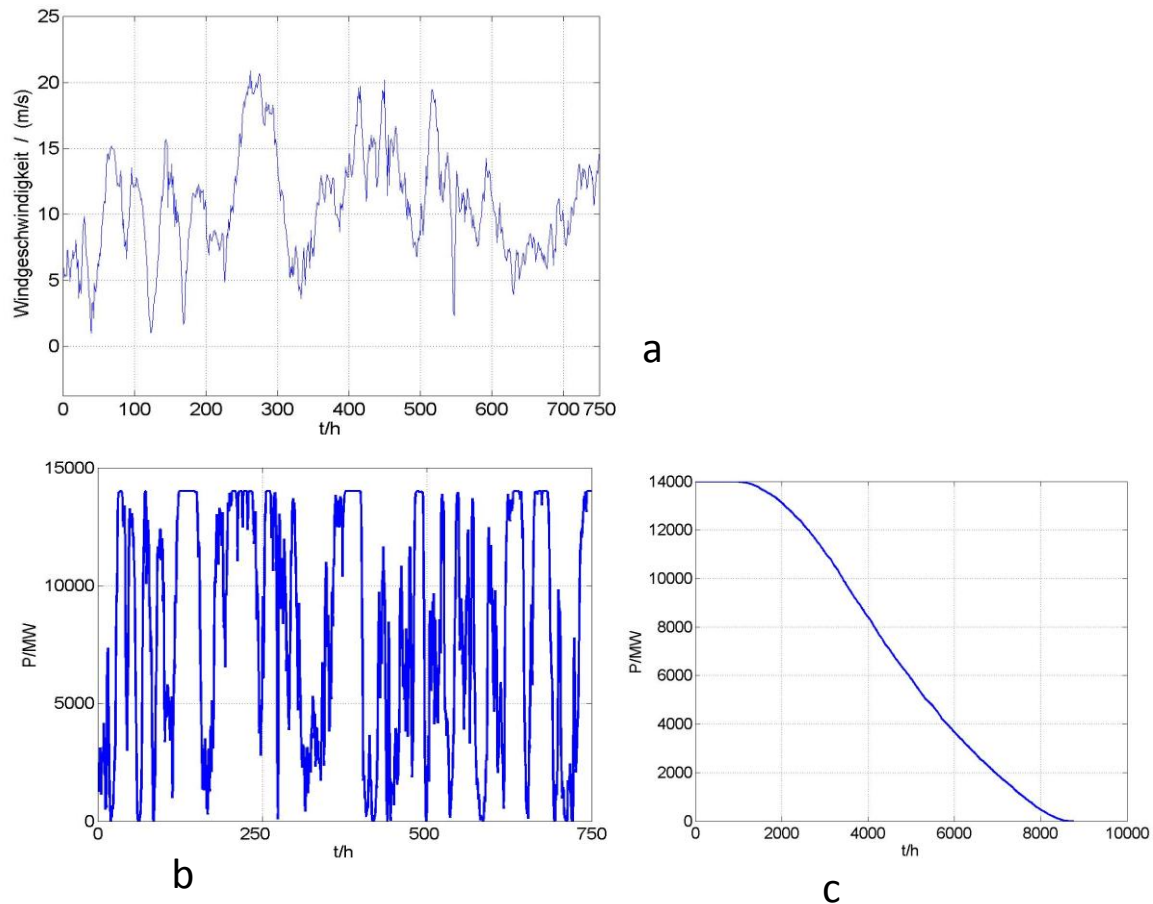


Abbildung 3-16: Simulierte Leistung aus offshore Windpark (b) mit Hilfe der Winddaten aus FINO-1 im Jahr 2009 (a). Die simulierten geregelten Windparks liefern insgesamt 14 GW als maximale Leistung. Die Berechnung wurde für das ganze Jahr durchgeführt, aber aus Darstellungsgründen sind die Werte auf (a) und (b) bis 750 h begrenzt. (c) ist die Jahresdauerlinie aus der Simulation.

Hinsichtlich der Simulationsergebnisse (Abbildung 3-17) wurde der Leistungsüberschuss als Ergebnis für eine grobe Energiebilanz betrachtet. Dabei tritt der maximale Leistungsüberschuss bei 20 GW auf<sup>4</sup>. Die Überschussdauer verteilt sich über 500 Stunden, wobei die meiste Zeit Überschussleistungen bei maximal 5GW liegen. Durch dieses Ergebnis wird es deutlich, dass die vorhandenen Pumpspeicherwerke nicht allein das zukünftige Energieversorgungsproblem lösen können. Sie sind in der Lage, nur einen Teil dieser Energieunterschiede zu kompensieren. Zusätzliche Maßnahmen (z.B. Ausbau der Pumpspeicherwerke, Lastmanagement, Import/Export, usw.) sollten zu einer Beseitigung der Überschussstunden führen.

<sup>4</sup> Die Verluste, u.a. Netzverluste, sind hier nicht berücksichtigt.

Andere Studien wie Dena haben einen Leistungsüberschuss von 14 GW bei der kritischen Starkwind/Schwachlast Situation prognostiziert. Zur effektiven Berücksichtigung dieser Leistung muss aber auch die Dauer der kritischen Situation abgeschätzt werden. Laut [26] kommen die Starkwindzeiten zu vergleichsweise geringen Gesamtstunden vor. Im Jahr 2030 wären mit 68,5 GW Wind und 62,8 GW Photovoltaik Überschussleistungen von bis zu -29 GW mit jedoch einer insgesamt Überschussenergie von ungefähr 880 GWh zu erwarten. Das sind weniger als 0,5% der im Jahr 2030 angenommenen Stromerzeugung.

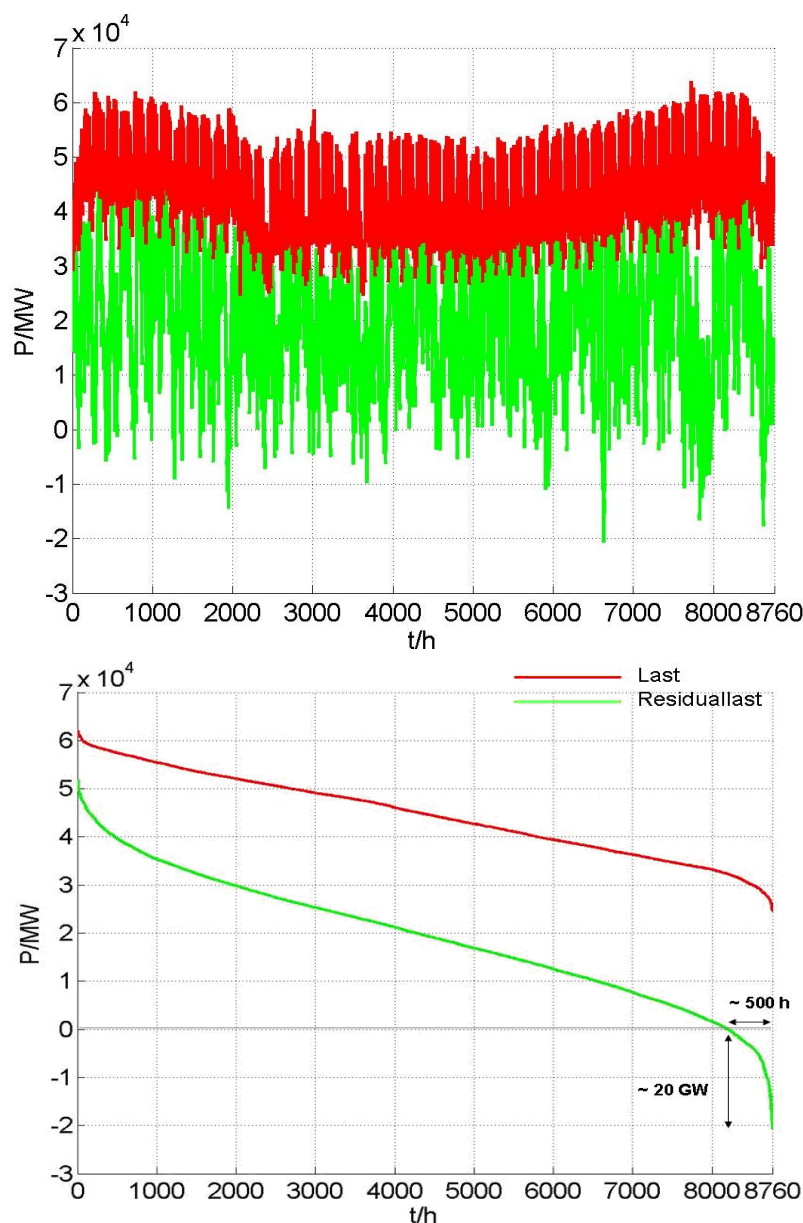


Abbildung 3-17: Die betrachteten Lastdaten für die 2020 Energieversorgungssimulation kommen aus Lastdaten des Jahres 2009 abzüglich 10 % Verbrauchsreduktion. Die Residuallast ergibt sich aus der Differenz zwischen Leistungsdaten aus On- und Offshore Wind-

parks. Die Leistungsdaten von Onshore Windpark sind die archivierten Daten (2009) des BDEW. Die Daten von Offshore Windpark wurden simuliert.

Eine weitere Analyse der Simulationsergebnisse verdeutlicht die Änderung des Kraftwerk-parks in Deutschland (siehe Abbildung 3-17). Durch die starke Integration der Windenergie werden der Anteil der Grundlastkraftwerke und ihre jährliche Betriebsdauer verringert. Mit der Hilfe der Pumpspeicherwerke sollte dann die Windenergie mehr eingesetzt werden, ohne die Stabilität des Netzes zu bedrohen. Die gespeicherte Leistung bei Überschuss wird zu Leistungsdefizitzeiten wieder ins Netz eingespeist. Durch dieses „Load Shifting“ auf der Erzeugungsseite werden die Schwankungen im Netz gedämpft.

Durch das Szenario wurde die Notwendigkeit des Einsatzes der Speicher durch die Energiebilanz verdeutlicht. In Kombination mit anderen Maßnahmen ist ein Pumpspeicherwerk eine relevante Komponente des zukünftigen Energieversorgungssystems in Deutschland.

### **3.4 Reduktion der Leistungsänderungsgeschwindigkeit durch „Peak Shave“**

Die Bewirtschaftung eines Pumpspeicherwerks, das im Verbund mit Windenergieanlagen gesehen wird, kann zur Reduktion der Leistungsänderungsgeschwindigkeit dienen, die durch das fluktuierende Angebot der Windenergie und die Abschaltung von Windenergieanlagen bei Starkwind verursacht wird. Diese Fluktuation ist in Abbildung 3-18 im Verlauf der eingespeisten Wirkleistung einer Windenergieanlage zu erkennen. Die Daten sind Messwerte von einer Windenergieanlage mit einer Leistung von 150 kW, die als Referenzwerte für diese Untersuchungen herangezogen werden (Daten aus Harz Energie Windeinspeisung).

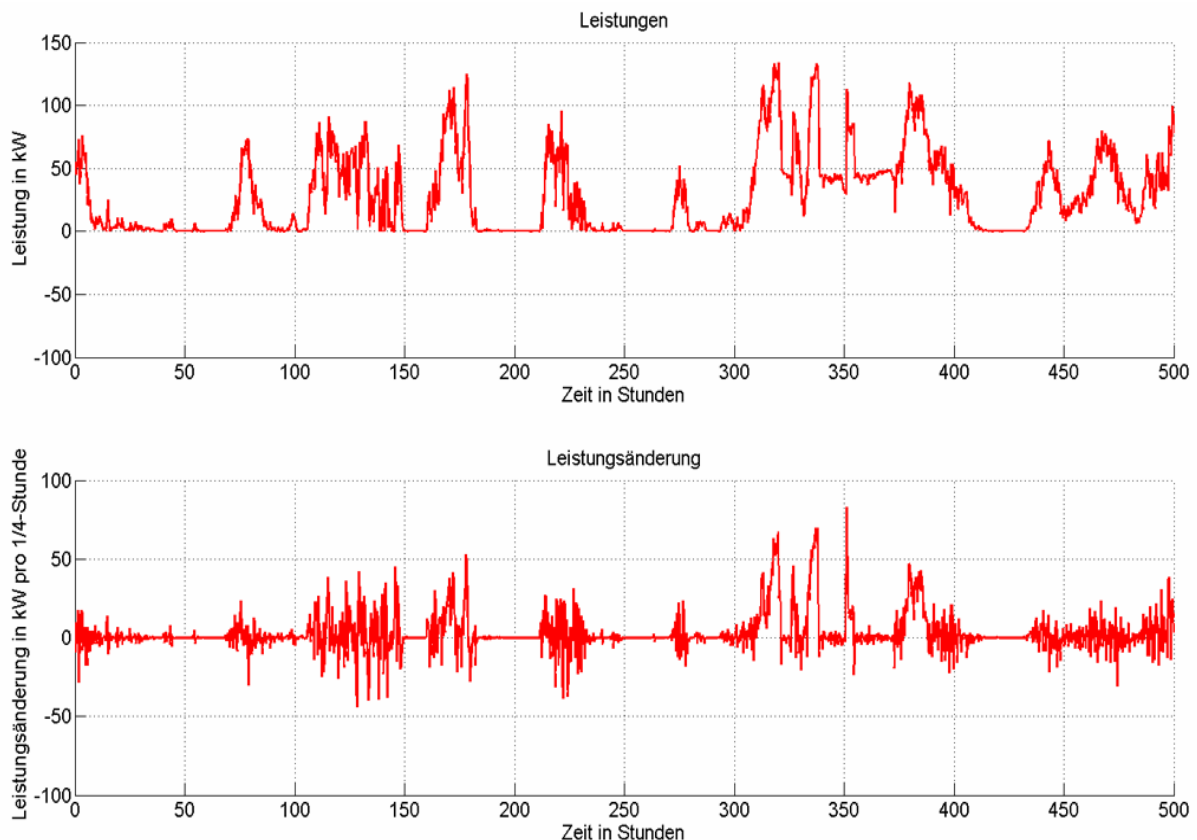


Abbildung 3-18: Auszug aus Messdaten der Harzenergie zur Analyse von Leistungen und Leistungsänderung an einer Windenergieanlage mit einer Leistung von 150 kW

In Abbildung 3-18 ist zusätzlich zur eingespeisten Leistung auch die Leistungsänderung zwischen zwei Messwerten, die hier in  $\frac{1}{4}$ -Stundenzeitschritten zur Verfügung standen, aufgeführt.

Auf Grundlage dieser Messdaten sind Voruntersuchungen zu einem möglichen Speichermanagement durchgeführt worden, um abschätzen zu können, wie ein Speicher zu bewirtschaften ist, und welche Speichergröße anzustreben ist.

In Abbildung 3-19 ist das Simulationsergebnis bei Einsatz eines Speichers zur Reduktion der Leistungsänderungsgeschwindigkeit und Begrenzung der max. Leistung dargestellt. Hier sind die Leistungen der Windenergieanlage nach Abbildung 3-19 (rot), der simulierte Leistungsverlauf am Speicher (blau) und der resultierende Verlauf der Kombination von Windenergieanlage und Speicher (grün) aufgeführt. Um die Ergebnisse auf andere Anlagen übertragen zu können, sind die Leistungen normiert dargestellt. Als Bezug zur Normierung diente die Maximalleistung der Windenergieanlage im betrachteten Zeitraum.

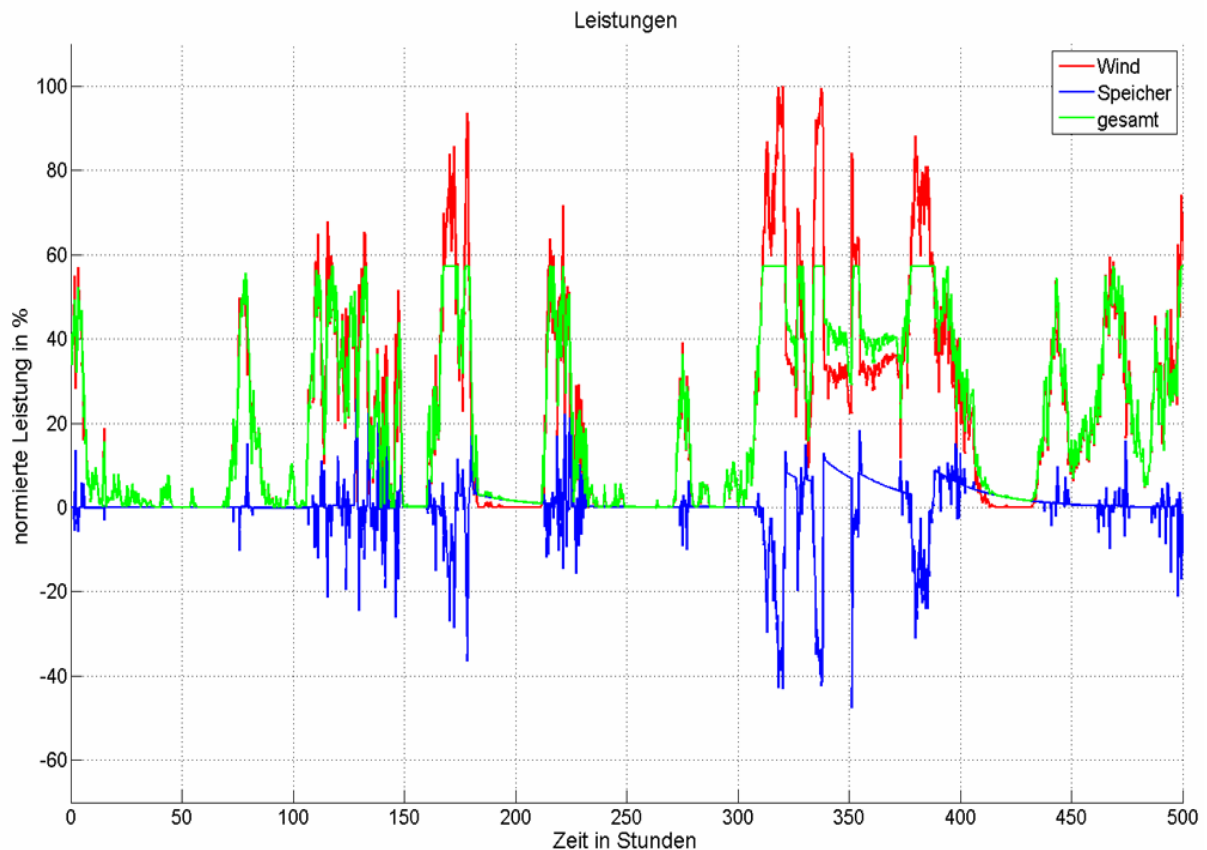


Abbildung 3-19: Simulationsergebnis bei Einsatz eines Speichers zur Reduktion der Leistungsänderungsgeschwindigkeit und Begrenzung der maximalen Leistung

Nach dem normierten Leistungsprofil wurden die maximale Speicherleistung und die benötigte Speicherkapazität für diese Einsatzmöglichkeit berechnet. Der Pumpspeicher wurde höchstens mit einer Leistung von 45% von Nennleistung des Windparks geladen. Aus der Normierung wurde die Speicherkapazität für einen Windpark von 1 MW auf rund 3 MWh (minimaler Wert) geschätzt. Daraus kann man die Leistung des Windparks durch die vorgegebenen Eigenschaften eines Pumpspeichers berechnet werden.

Zum Beispiel: Für einen 100 MW-Windpark wird eine minimale Speicherkapazität von 300 MWh benötigt. Ein Pumpspeicherwerk mit 100 MW und 4 h Volllast (400 MWh) kann solche Aufgabe ohne Probleme übernehmen.

### 3.5 Weitere Untersuchungen durch die Simulation „Windpark / Pumpspeicherkraftwerk“

Im Rahmen des Projekts wurde zusätzlich ein Pumpspeicherwerksmodell unter Berücksichtigung der Anforderungen aus dem Bereich des Maschinenbaus realisiert. Die Nach-



bildung des offshore Windparks (siehe Abschnitt 3.3) wurde später in Kombination mit dem Pumpspeicherwerksmodell in einer gesamten Simulation verwendet.

Das Ziel war hier ein Energieversorgungssystem nachzubilden, wobei ein Windpark und ein Pumpspeicherwerk unter Tage durch das Netz gekoppelt sind. Mit einem solchen Simulationstool sind weitere Untersuchungen im Rahmen dieses Projekts durchgeführt. Wie bei der Beschreibung des Windpark-Modells erklärt, sind aus der Windgeschwindigkeit (in m/s) nicht nur die Windleistung berechnet worden, sondern auch die zu regelnde Rotordrehzahl. Diese detaillierte Berücksichtigung der mechanischen und örtlichen Parameter hat einen großen Einfluss auf die Dynamik der simulierten Windkraftanlagen, welche sehr relevant für die Verhaltensanalyse des Pumpspeicherwerksmodells ist.

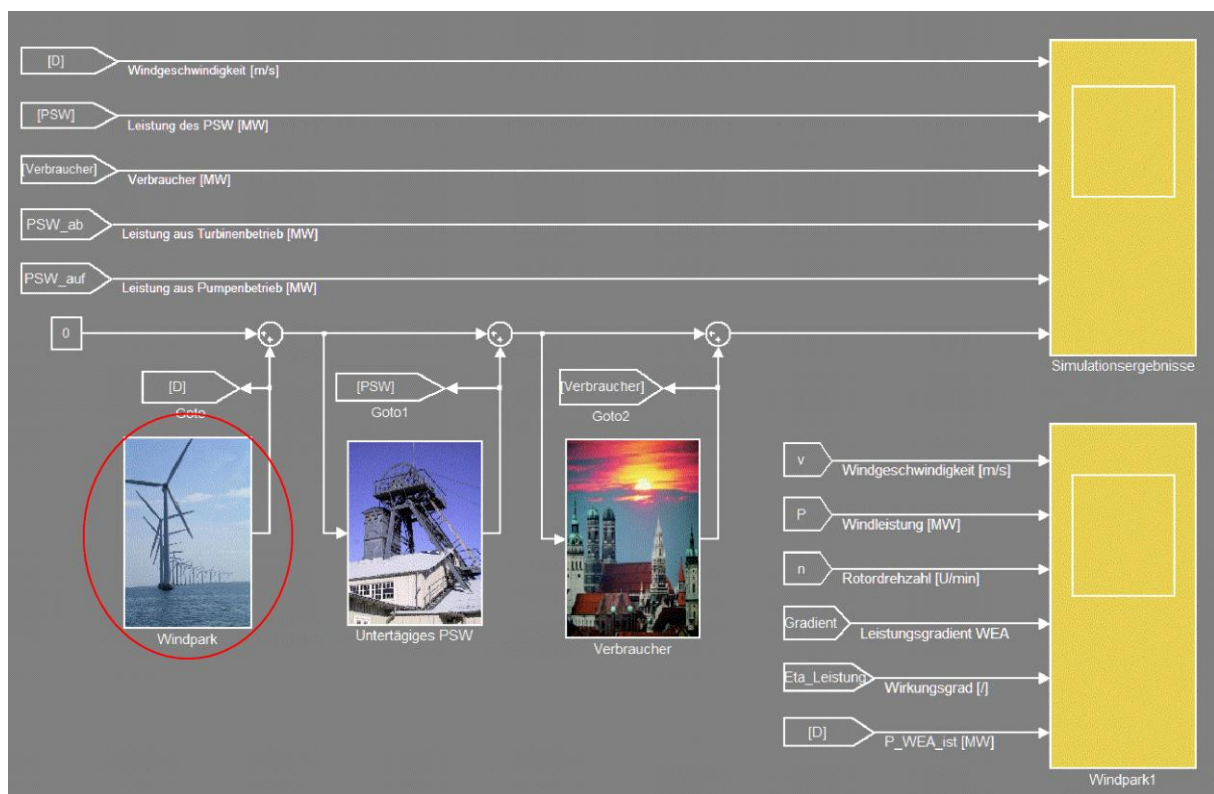


Abbildung 3-20: Gesamte Simulation: Integration von Windenergie in Kombination mit Pumpspeicherwerk unter Tage

Als Eingangsgröße wurden die Leistungsabgabe und -gradienten aus dem Windpark Modell ins begleitende Pumpspeicherwerksmodell eingeführt. Unter dem Verbraucher-Modell liegt ein Lastprofil aus archivierten Lastdaten.

Die Abbildung 3-20 stellt die verschiedenen Simulationsteile (Subsysteme) dar. Die „Windpark“, „Untertätiges PSW“ und „Verbraucher“ – Subsysteme erhalten die entsprechenden Modelle, die das Energieversorgungssystem nachbilden. Nach der Ausführung

der Simulation sind die Ergebnisse durch zwei Visualisierungsmodule („Windpark1“ und „Simulationsergebnisse“ - Scope) dargestellt.

Beim Pumpenbetrieb liegt der Wirkungsgrad (Verhältnis der potentiellen zur elektrischen Energie) zwischen 85 und 90%. Ein ähnlicher Wert wird der Wirkungsgrad beim Turbinenbetrieb (Verhältnis der elektrischen zur potentiellen Energie) erreicht. Er ergibt sich somit einen gesamten Speicherwirkungsgrad zwischen 72 bis 81%.

Die Beschreibung des Pumpspeicherwerksmodells und die genutzten Szenarien sind im Berichtsteil des Maschinenbaus zum Lesen.

#### **4. Analyse der energiesystemtechnischen Standortkriterien des Modellbergwerks I**

Wie bereits in den bergbaulichen Fragestellungen erwähnt wurde, sind im Rahmen des vorliegenden Projekts zwei geeignete Standorte näher untersucht worden, um somit die Bedingungen, die ein stillgelegtes Bergwerk an eine Nachnutzung stellt, nachvollzuziehen. Im Folgenden wird auf die wichtigsten energiesystemtechnischen Fragestellungen bezogen auf örtliche Rahmenbedingungen im Einzelnen eingegangen. Dabei wird der Stromtransport aus dem Generator bis einschließlich Einspeisung in das Stromnetz betrachtet.

Als erster Standort wurde das ehemalige Erzbergwerk Grund gewählt. Wie in Abbildung 4-1 dargestellt, liegt dieser Standort östlich von Bad Grund neben der Bundesstraße 242 und hat einer Luftlinienentfernung von ca. 7 km bis zum nahe liegenden Umspannwerk in Münchhof. Westlich und nördlich dieses Standorts laufen zwei 110kV Freileitungstrassen der Harz Energie vorbei. Zur Auslegung und Dimensionierung wurden Annahmen auf Grundlage bergtechnischer Vorgaben zu diesem Bergwerk getroffen. Die wichtigsten Randbedingungen zur Auslegung lauten daher:

- Gesamtvolumen von Ober- bzw. Unterbecken: 307.800 m<sup>3</sup>
- Nutzbares Volumen von Ober- bzw. Unterbecken: 242.000 m<sup>3</sup>
- Fallhöhe: 700 m



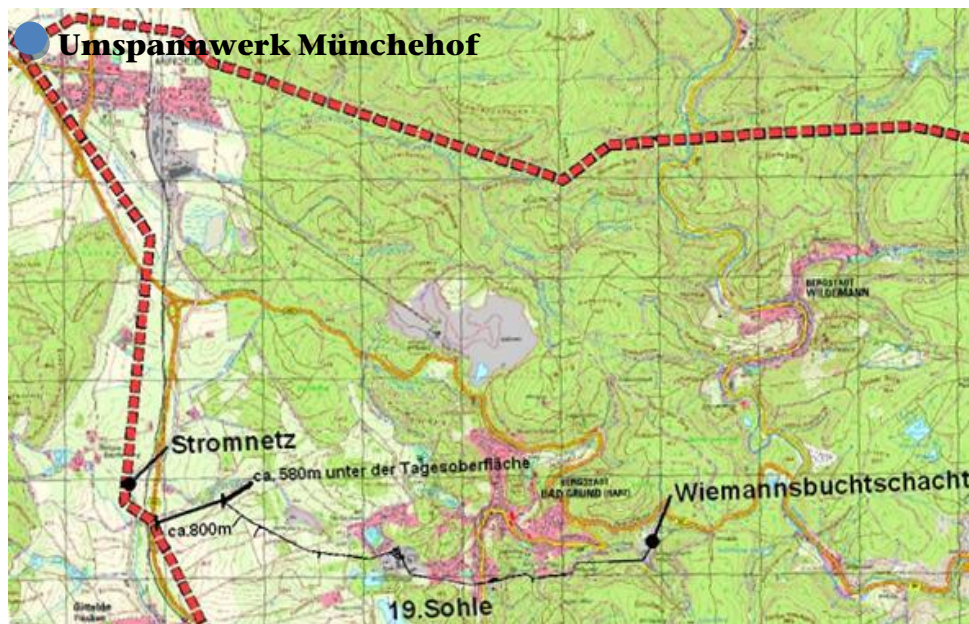


Abbildung 4-1: Lage des ehemaligen Erzbergwerks Grund

Aus den oben aufgeführten Daten ergibt sich bei voller Speicherung eine potentielle Energie von 1.661.810 MJ oder 461,615 MWh. Sie wird durch die Formel:

$$E_{pot} = \rho \cdot g \cdot V \cdot h$$

$$\text{Wasserdichte } \rho = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Gravitationsbeschleunigung } g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (6)$$

berechnet.

Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen, ist die getrennte Aufstellung von einem Turbinen- und einem Pumpensatz in der Kaverne vorgesehen. Die nur einmal vorhandene elektrische Maschine arbeitet im Pumpenbetrieb als Motor und im Turbinenbetrieb als Generator.

Die Auslegung der Anlagenleistung unter elektrotechnischen Gesichtspunkten findet unter Berücksichtigung der Anforderungen zur Teilnahme am Regelenergiemarkt statt. Ziel ist im ersten Schritt die Festlegung der Anlagenleistung, die an das elektrische Netz anzuschließen ist. Die hierzu getroffenen Annahmen und Berechnungen sind im Folgenden zusammengefasst.

Es wurde eine Arbeitsverfügbarkeit für einen Zeitraum von  $\Delta t = 4 \text{ h}^5$  angenommen. Mit dieser Annahme ist das Pumpspeicherwerk in der Lage, am Regelenergiemarkt teilzunehmen, ohne die Restriktionen zu verletzen. Unter Berücksichtigung der wichtigsten Randbedingungen wird der Volumenstrom bei vollständiger Befüllung und Entleerung im Zeitraum von  $\Delta t = 4 \text{ h}$  berechnet:

$$\dot{V} = \frac{242000 \text{ m}^3}{4 \text{ h}} = 16,8 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (7)$$

Wie es in Abbildung 4-2 dargestellt ist, hat ein Pumpspeicherwerk einen Gesamtwirkungsgrad von ca. 77% (86% im Pumpenbetrieb und 89% im Turbinenbetrieb).

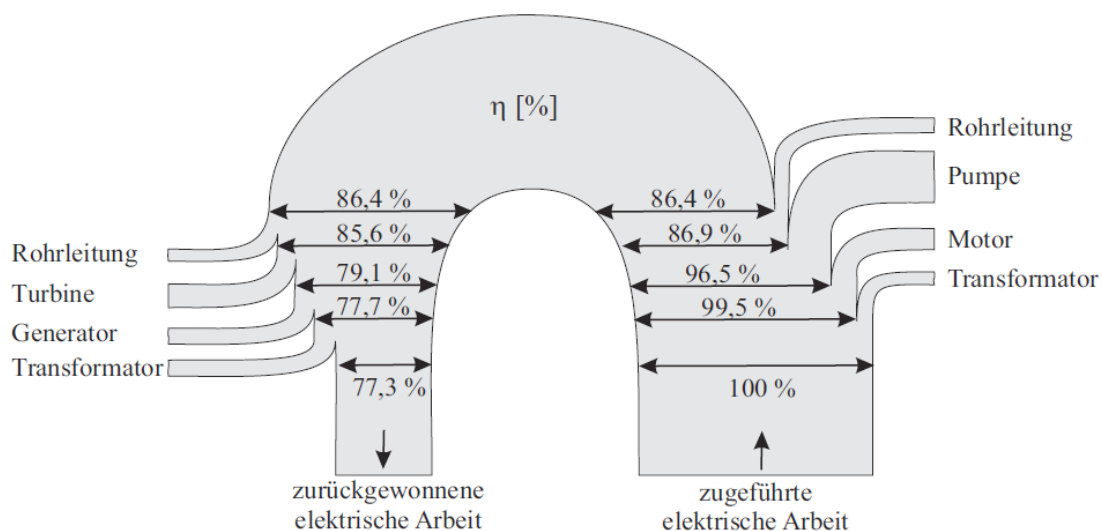


Abbildung 4-2: Überschlägige Wirkungsgrade und Verluste einer Pumpspeichereinrichtung /17/

Bei vollständiger Befüllung wird die elektrische Leistung der Pumpe ( $P_{el}$ ) unter Annahme eines Gesamtwirkungsgrads ( $\eta_{pumpe}$ ) von 0,86 durch die folgende Formel berechnet.

$$P_{el} = \frac{E_{Pot}}{\eta_{pumpe} \cdot \Delta t} = \frac{461,61 \text{ MWh}}{0,86 \cdot 4 \text{ h}} = 134,19 \text{ MW} \quad (8)$$

Bei vollständiger Entleerung wird die elektrische Leistung des Generators ( $P_{el}$ ) unter Annahme eines Gesamtwirkungsgrads ( $\eta_{turbine}$ ) von 0,89 durch die folgende Formel berechnet.

$$P_{el} = \frac{E_{Pot}}{\eta_{turbine} \cdot \Delta t} = 0,89 \cdot \frac{461,61 \text{ MWh}}{4 \text{ h}} = 102,71 \text{ MW} \quad (9)$$

<sup>5</sup> Bei der Option „Halbierung der Speicherbecken aufgrund von standortbezogenen Rahmenbedingungen“ wird die Speicherkapazität auf 2 Stunden gesetzt und damit wird die Turbinen- bzw. Pumpenleistung unberührt bleiben

Somit kann die Einspeisungsleitung der Modellanlage auf 100 MW<sub>el</sub> angenommen werden<sup>6</sup>. Im Folgenden werden zunächst sämtliche Komponenten, die den Stromtransport zwischen dem Maschinenhaus und Verteilungsnetz ermöglichen, unter Beachtung der Standortkriterien näher untersucht. Es handelt sich dabei um den Anschluss des Motor-generators des Pumpspeicherwerks am Stromnetz, welches für eine bessere Übersicht in „untertägige“ und „übertägige“ Komponenten aufgeteilt wird.

#### 4.1 Übertägige Komponenten

Zunächst sollte die Oberspannungsebene für den Netzanschluss ausgelegt werden. Aus der Literatur /6/ ist zu entnehmen, dass in dieser Leistungsklasse ein Netzanschluss in der 110kV Spannungsebene anzunehmen ist. Zur Überprüfung dieser Angaben ist eine Recherche durchgeführt worden, um zu untersuchen, wie der Netzanschluss bei Wasserkraftwerken mit vergleichbarer Anlagenleistung realisiert ist. Die Auflistung der Ergebnisse zeigt, dass ein Netzanschluss existierender konventioneller Pumpspeicherkraftwerke in dieser Größenordnung tatsächlich an das 110kV Netz erfolgt ist. So ergibt sich z.B. nach /10/

<b>Pumpspeicherkraftwerk</b>	<b>Gesamtnennleistung [MW]</b>	<b>Energiezuführung und - Abführung (Verkabelung)</b>
Bleiloch	80	110kV-Doppelleitung
Hohenwarte I	63	Vier 110kV- sowie zwei 15-kV-Freileitungen
Niederwartha	120	110kV-Leitung
Wendefurth	80	110kV-Doppelleitung stellt die Verbindung zum Netz des zuständigen regionalen Energieversorgungsunternehmens her

Tabelle 4-1: Netzanschluss bei Wasserkraftwerken mit vergleichbarer Anlagenleistung

<sup>6</sup> 2,1 MW Eigenbedarf im Betrieb (siehe Kapitel 4.1.3) und 70 kW ohmsche Kabelverluste der Kabel bis zur Erdoberfläche (siehe Kapitel 4.5)

Wie bereits in Kapitel 4 und in Abbildung 4-1 dargestellt wurde, bestehen zwei 110kV-Freileitungstrassen nördlich und westlich von Bad Grund, die sich im Umspannwerk Münchhof treffen. Nach Absprache mit dem zuständigen Netzbetreiber kann der Netzanschluss durch eine Einsystem-Stichleitung zum 110-kV-Netz des Netzbetreibers oder zum nächsten Umspann-Netzknoten 380kV / 220kV / 110kV realisiert werden. Hier müssen eventuelle Probleme der Netzsteifigkeit, der Kurzschlussleistung und des zulässigen Spannungshubs berücksichtigt werden.

Für einen Anschluss an diesem Umspannwerk wurden die Optionen Teilverkabelung und vollständige Verkabelung betrachtet. Bevor auf die Netzanbindungsvarianten eingegangen wird, sollte zunächst ein Überblick über die Vorteile und Nachteile von Freileitung bzw. Erdkabel geschaffen werden:

#### Erdkabel /18/

- Vorteil:
  - Magnetfelder fallen mit zunehmender Entfernung schneller ab als bei Freileitungen.
  - keine äußeren elektrischen Felder, Immissionen und Koronageräusche
  - Keine Auswirkung auf das Landschaft und die Vogelwelt
- Nachteile:
  - Magnetfelder von Kabeln können an der Erdoberfläche aufgrund des geringeren Abstandes größere Werte als die einer Freileitung mit vergleichbarer Belastung annehmen
  - erhebliche Eingriffe im Arbeitsstreifen durch Entfernen der Vegetation
  - umfangreiche Erdarbeiten
  - keine tief wurzelnden Gehölze, Bäume oder Bauwerke im Schutzstreifen
  - Bodenerwärmung und Bodenaustrocknung

#### Freileitung /18/

- Vorteile:
  - Einfacher Aufbau
  - deutlich höhere Übertragungsfähigkeit durch Luftkühlung
  - einfache Querung von Verkehrswegen und Wasserläufen durch Überspannen
  - längere Lebensdauer
  - höhere Versorgungszuverlässigkeit

- kürzere Reparaturdauer
- Investitionskosten liegen weit unter denen eines Erdkabels

#### 4.1.1 Hauptanschlussvariante: Teilverkabelung

In dieser Variante kommt die nördliche einsystemige 110kV-Trasse der Harz Energie (siehe Abbildung 4-1) in Frage, die allerdings eine maximale Übertragungsleistung von nur 98 MVA besitzt und somit eine zusätzliche Last in der betrachteten Größenordnung nicht aufnehmen kann (siehe Gleichung (8) & (9)). Als Lösung wären 2,3 km entlang der Bundesstrasse 242, 1,9km entlang der Gasleitungstrasse vom Harz Energie Netz GmbH und 1,3km weiter durch das Waldgebiet bis zur bestehenden 110kV Freileitung durchzuführen. Von dort wird die bestehende Freileitung bis zum Münchhof-Umspannwerk zurückgebaut und mit stärkeren zweissystemigen Freileitungsmasten ersetzt (siehe Abbildung 4-4 und Abschnitt Teilverkabelung des Teilberichts IBB & IGMG). Abbildung 4-3 zeigt eine exemplarische Darstellung der Kabelkünette für ein 110-KV Kabelsystem in Dreieckanordnung.

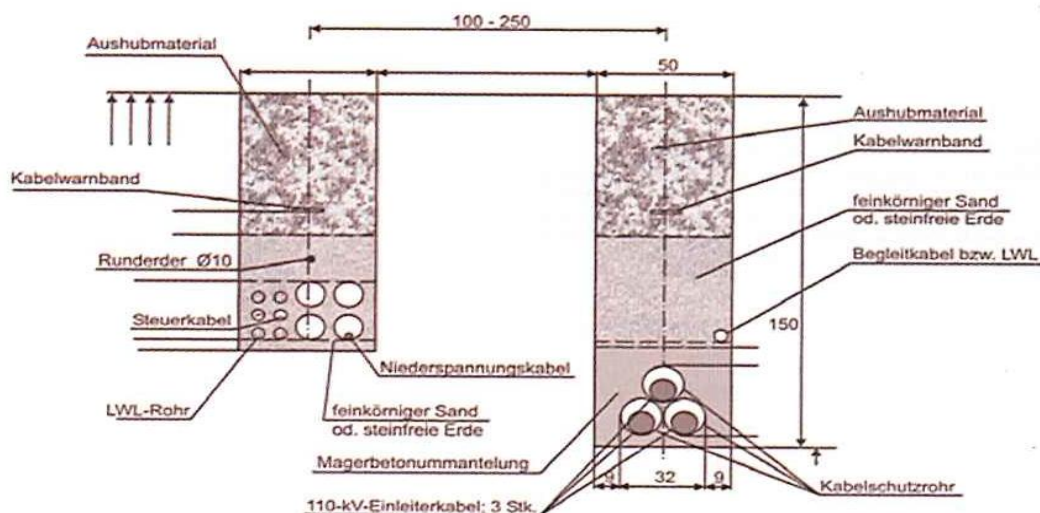


Abbildung 4-3: Künette eines 110-kV-Kabels in Dreieckverlegung /45/

Außerdem sind bei der Neutrassierung die zulässigen elektrischen und magnetischen Felder bei ständig bewohnten Gebäuden und Grundstücken zu beachten. Hierzu schreibt die 26. BImSchV<sup>7</sup> für Freileitungen 5kV/m für das elektrische Feld und 100 µT für das magnetische Feld vor. Dabei ist zusätzlich das Schallgutachten des TÜV Süd zu erwähnen, bei

<sup>7</sup> Bundesimmissionsschutzverordnung

dem die folgenden Mindestabstände von der Trassenmitte zur Einhaltung der Grenzwerte nach TA Lärm<sup>8</sup> erforderlich sind /18/:

- |   |       |
|---|-------|
| • Industriegebiete                              | 0 m   |
| • Gewerbegebiete                                | 20 m  |
| • Kern-, Dorf-, Mischgebiete                    | 40 m  |
| • Allgemeine Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete | 100 m |
| • Reine Wohngebiete                             | 200 m |
| • Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten    | 200 m |

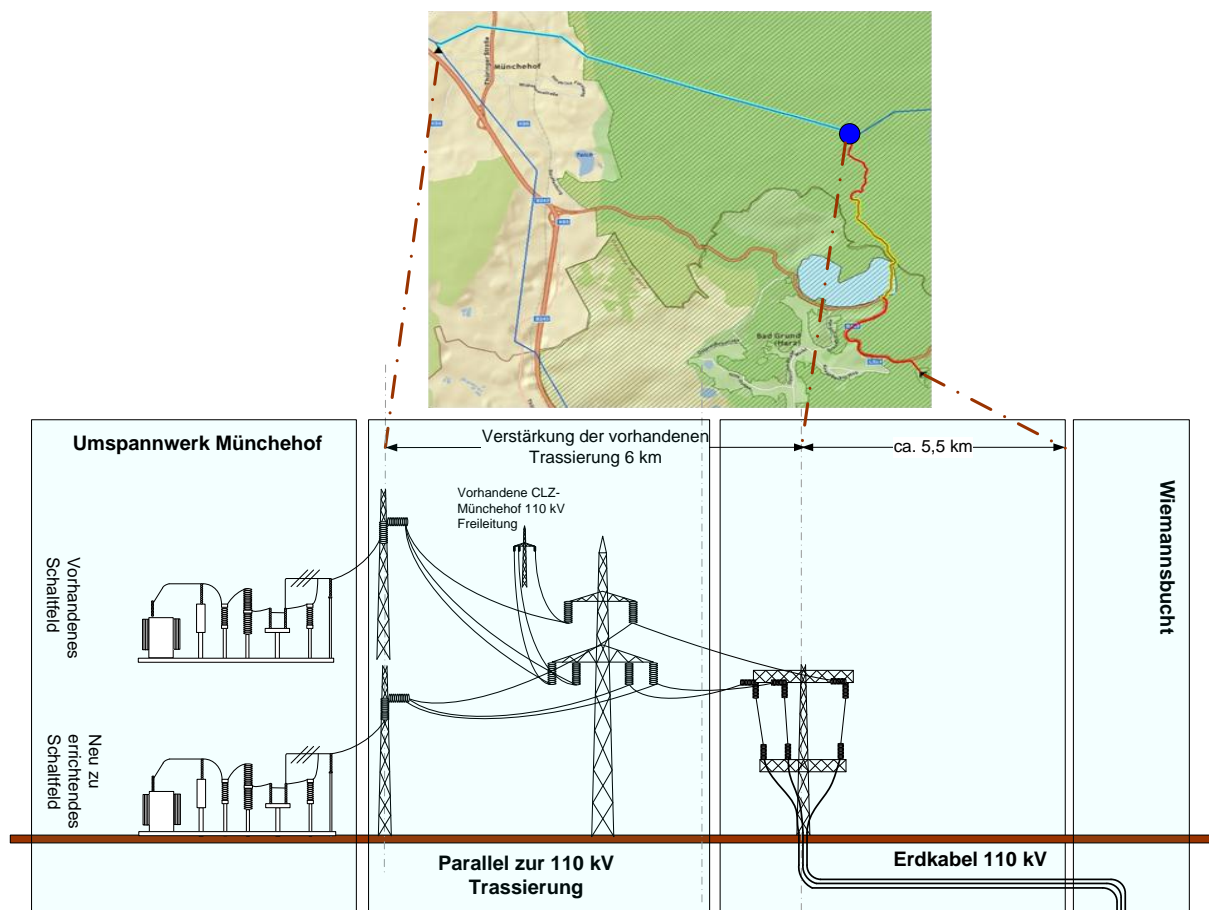


Abbildung 4-4: Teilverkabelung (Landkartequelle: IGMC)

Die durch das Schallgutachten errechneten Mindestabstände liegen in jedem Fall über den vorgeschriebenen Mindestabständen für elektromagnetische Strahlung /18/.

<sup>8</sup> Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm



Um zusätzlich die Schneise im Wald so klein wie möglich freimachen zu müssen, kommen hier 40 bis 80 m hohe Masten in Betracht. Das Ergebnis einer genaueren Untersuchung des Instituts für Geotechnik und Markscheidewesen unter Beachtung der örtlichen Randbedingung ist Abbildung 4-4 oben auf der Landkarte zu entnehmen.

#### 4.1.2 Hauptanschlussvariante: Vollständige Verkabelung

In dieser Variante wird der erste Abschnitt genauso wie der Teilverkabelungsvariante sein. Von dort werden 5,5km parallel zur Gasleitungstrasse vom Harz Energie Netz GmbH verlegt. Der letzte Abschnitt bis zum Umspannwerk in Münchehof führt entlang der Bundesstraße 242 und der Kreisstraße 64 (siehe Abbildung 4-5).

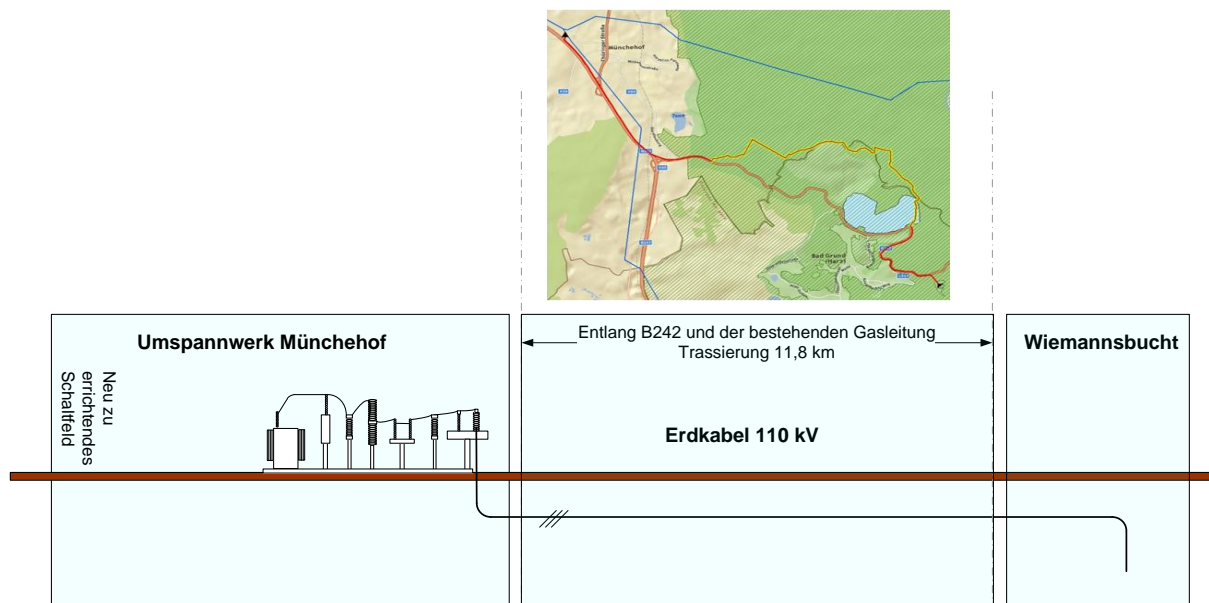


Abbildung 4-5: Erdkabelvariante (Landkartequelle: IGMC)

#### 4.1.3 Übertägiger Eigenbedarfsanschluss

Abgesehen vom Hauptanschluss auf 110kV Spannungsebene ist auch die Eigenversorgung zu betrachten. Hierbei handelt es sich um einerseits übertägige Versorgung (Leitwarte, Schaltfeld, Beleuchtung, ...) und andererseits untertägige Versorgung (Entwässerungspumpen, Automatisierung, Leittechnik, ...). Eine separate Versorgung auf Mittelspannungsebene sollte hier versichern, dass sowohl übertägige als auch untertägige Anlagen mit hoher Zuverlässigkeit betrieben werden können. Da es sich auf dem Betriebsgelände um einen unter Denkmalschutz stehenden veralteten Mittelspannungsschluss und die dazu gehörigen Komponenten handelt, wurde seitens der Harz Energie vorgeschlagen,

eine vollständige Renovierung der Anlage zusammen mit Neuverlegung einer doppelsystemigen 20kV Erdkabel vorzunehmen.

Zur Festlegung der erforderlichen Leitung für den Eigenbedarfsanschluss sind die vom IBB zusammengefassten Daten (siehe Tabelle 4-2) zu beachten, die eine Abschätzung über den wesentlichen Eigenbedarf während der Bau- und Betriebsphase enthalten. Somit kommt es auf eine Gesamtleistung von 2,95 MW, die allerdings nur während der Bauphase erreicht wird. Im Betrieb liegt der maximale Eigenbedarf ohne die temporären für Bergbauarbeiten benötigten Maschinen bei 2,1 MW (-30%).

Zusätzlich muss der Eigenbedarf, sowohl übertägig als auch untertägig, wie jedes andere Kraftwerk im Notfall gedeckt werden können, damit ein netzunabhängiges Anfahren oder Weiterbetreiben der Maschinen ermöglicht wird. Ein dieselbetriebenes Notstromaggregat mit ausreichend Leistung zur Versorgung der wesentlichen Komponenten wäre dann abgasbedingt übertägig zu installieren. Hierzu bestehen weitere Möglichkeiten, wie z.B. Hausmaschine und Batterien. Das PSW Erzhausen mit 240 MW installierter Leistung verfügt über eine separate, mit einer Anzapfung aus der Druckrohrleitung betriebene Hausmaschine, die 1,4 MVA bereitstellen kann. Allerdings ist zu beachten, dass Erzhausen keinen untertägigen Eigenbedarf, wie z.B. Ventilation und Entwässerungspumpe, hat.

Maschine	Anzahl	elektrische Leistung [kW]	Anmerkung
Bohrwagen	2	125	Temporär
Air Kompressor	1	Vernachlässigbar	Temporär
Bandanlage Untertägig	1	200	Temporär
Bandanlage Übertägig	1	200	Temporär
Auxillary Ventilation	4	50	Temporär
Hauptlüfter	1	500	Permanent
Förderanlage & Seilfahrt	1	1000	Permanent
Entwässerungspumpe <sup>9</sup>	1	600	Permanent
Beleuchtung, Kommunikation		Vernachlässigbar	Permanent

<sup>9</sup> Im Erzbergwerk Grund handelt es sich schätzungsweise um eine Sumpfwassermenge von 500.000m<sup>3</sup> und zusätzlich um dauerhaftes Kluftwasser von ca. 150m<sup>3</sup>/h. Die von der Firma KSB vorgeschlagene Unterwassermotorpumpe kann im optimalen Betriebspunkt bei 75% Wirkungsgrad 200m<sup>3</sup>/h über 800m hochpumpen und benötigt dabei eine elektrische Leistung von 600 kW. Dieser Wert wird für weitere Berechnungen als eine konservative Leistung zur Entwässerung betrachtet, die allerdings eine genauere Untersuchung zur Bestimmung der genauen Anzahl der Maschinen und deren Leistung erfordert.



Tabelle 4-2: Wesentlicher Eigenbedarf (Quelle: IBB, Jarrah)

## 4.2 Untertägige Komponenten

In einem zweiten Schritt wird zu untersuchen sein, wie eine Verbindung zwischen der Kraftwerksausleitung aus der Maschinenkaverne an die Erdoberfläche erfolgt.

In Abbildung 4-6 sind die grundsätzlichen Komponenten dargestellt, die den Anschluss des Generators zur Energieableitungskabel ermöglichen. Hierzu kommt noch die Eigenversorgung für die untertägigen Aggregate, wie z.B. Hydraulik, Luftdruck, Beleuchtung, Leittechnik, etc., die einerseits aus der Mittelspannungsseite des Transformators und andererseits durch zwei separate 6kV Mittelspannungskabel aus dem Betriebsgelände versorgt wird (siehe Abbildung 4-7).

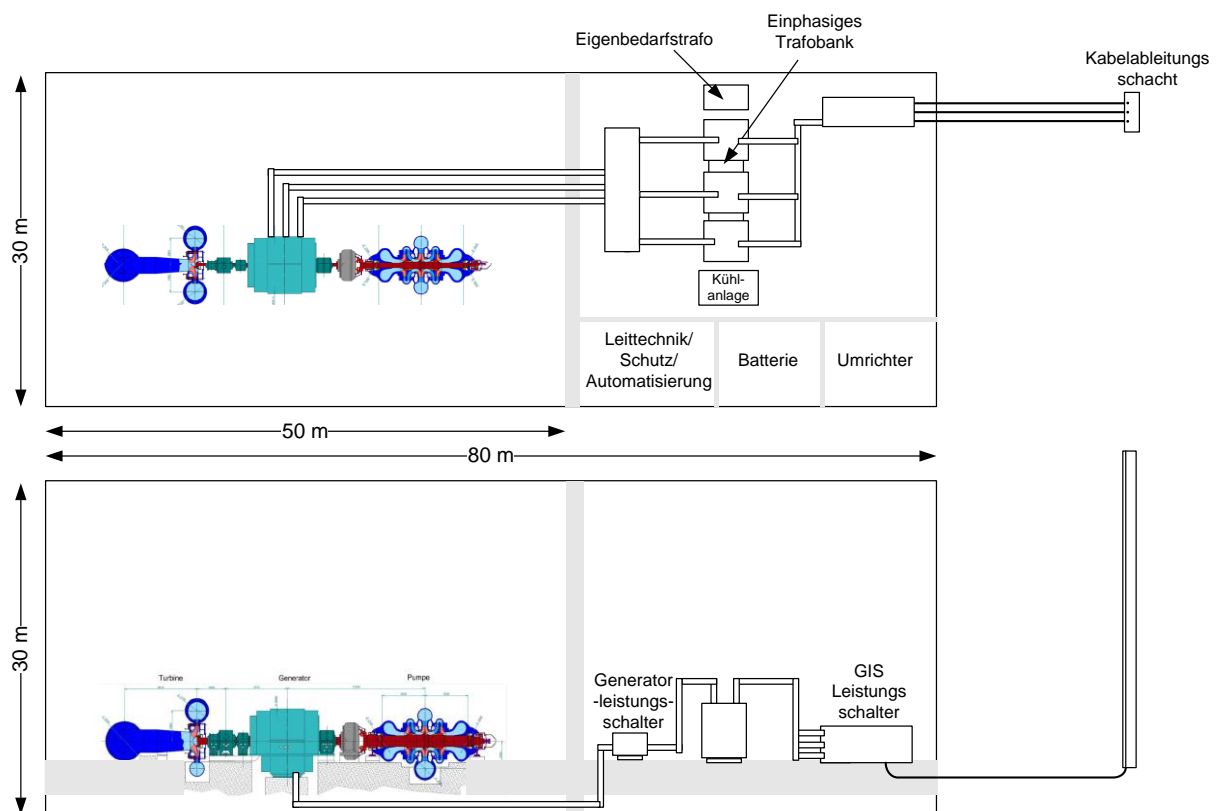


Abbildung 4-6: Untertägige Kaverne

Dabei ist zunächst hinter den isolierten Ableitungen aus dem Generator ein dreiphasiger Generatorleistungsschalter zu sehen, der in der Regel mit Leistungsschalter und Trennschalter zusammen mit dem Antrieb sowie der Überwachungs- und Leittechnik auf einem gemeinsamen Rahmen montiert wird. Zusätzliche Komponenten wie z.B. Erdungsschalter, Anfahrtschalter, Strom- oder Spannungswandler, Überspannungsschutzkondensator

und Überspannungsableiter können vorgesehen und in die Phasenkapselungen integriert und montiert werden /19/.

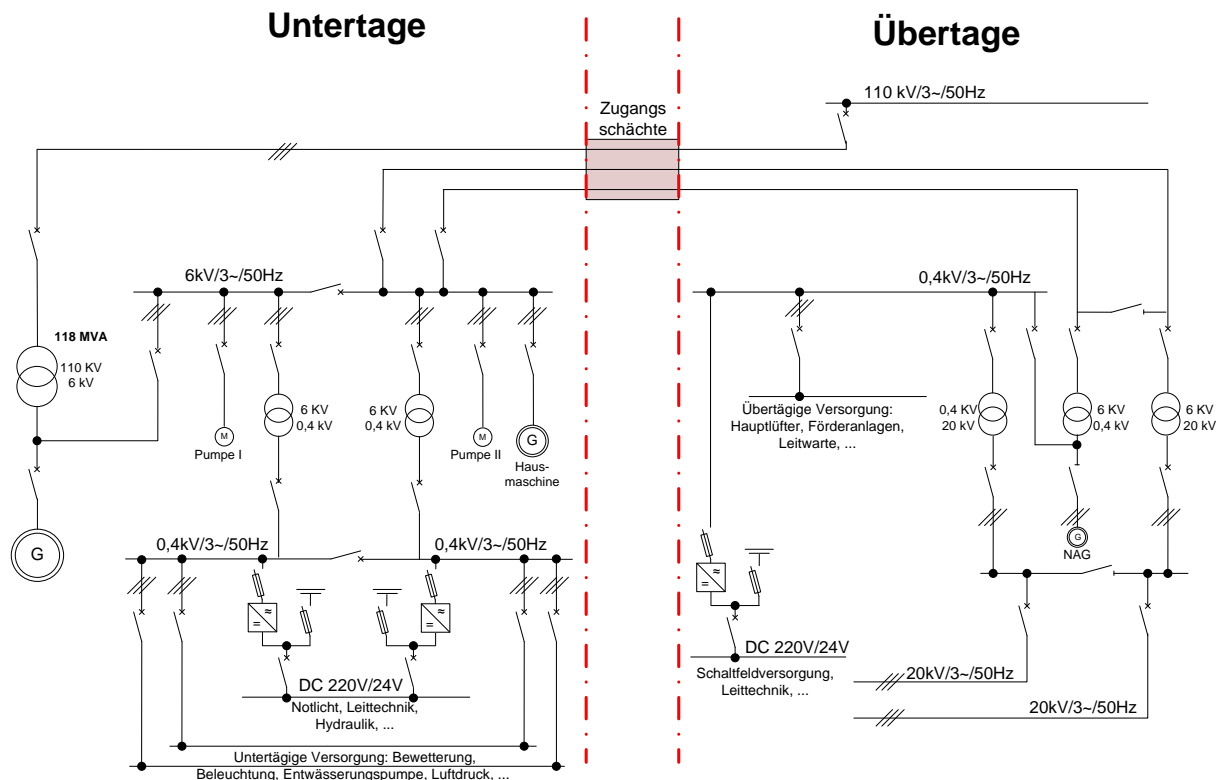


Abbildung 4-7: Schematische Darstellung der Stromnetze

Wenn der Haupttransformator untertägig installiert wird, anstatt direkt mit den Mittelspannungskabeln bis zur Erdoberfläche zu kommen und dort auf die Oberspannungsebene umzuwandeln (vergleiche Kapitel 4.3.3), kommt dieser dann hinter dem Generatorleistungsschalter. Maschinentransformatoren können als Drehphasentransformatoren oder als Transformatorenbank aus drei Einphasentransformatoren ausgeführt werden. Drehphasentransformatoren werden als ein Block betrachtet und benötigen wegen der kompakten Bauweise weniger Platz als drei einzelne Transformatoren. Allerdings kommt aufgrund seiner zu großen Abmessungen ein Transport im Stück durch einen 3,5m großen Schacht nicht in Frage. Nach Angaben der beiden Transformatorhersteller ABB und Areva muss mit einer Größe von 8m x 2,5m x 4,5m [Länge x Breite x Höhe] und einem Gewicht von 90 Tonnen gerechnet werden. Entweder wird der Transformator in zerlegter Form unter Tage befördert und in der vorgesehenen Kaverne aufgebaut. Laut Areva muss dann unter Tage sichergestellt sein, dass eine klimatisierte, staubdichte und niederschlagssichere Einhausung für die Montage zur Verfügung steht. Oder drei Einphasentransformatoren werden zusammen geschaltet und stellen so einen Drehpha-

sentransformator dar, um die Transporteinschränkungen bezüglich Abmessung und Gewicht zu beseitigen. In Abbildung 4-6 ist eine Trafobank bestehend aus drei einphasigen Transformatoren dargestellt.

Nach Umwandlung auf die Oberspannungsebene (hier 110kV) soll der Transformator mit den geeigneten Schutzmaßnahmen stehen. Auf dem Gebiet der Schaltanlagen für Hochspannung werden zwei Arten von Anlagen benutzt, die sich durch die Isolationsart der einzelnen Leiter von der Umgebung unterscheiden: Freiluftanlagen und gekapselten Anlagen. Bei Freiluftschaltanlagen dient die Luft als Isolator, wobei die isolierende Wirkung durch die räumliche Trennung der einzelnen Leiter voneinander entsteht und dadurch zu einem erhöhten Raumbedarf führt. Bei gasisolierten Schaltanlagen ist die dielektrische Festigkeit bereits bei Normaldruck etwa dreimal so hoch wie die der Luft. Aufgrund der Baukastenbauweise sind sie mit geringerem Flächen- und Raumbedarf, vollständigem Berührungsschutz, Schutz vor Verschmutzung, geringer Störanfälligkeit, geringem Wartungsaufwand und kurzen Montagezeiten gegenüber der offenen Bauweise zu bezeichnen, weswegen sie für die Betrachtung des Projektes für das Hochspannungsnetz vorgezogen wurde. Gemäß Angaben der beiden Schaltanlagenhersteller Areva und ABB ergeben sich für eine Schaltanlage in der Leistungsklasse 110kV Abmessungen von 4m x 3m x 1m [Tiefe x Höhe x Breite]. Das Gewicht liegt laut den beiden Herstellern bei etwa 3.000kg. Während dem Betrieb muss zu jedem Zeitpunkt für Staubfreiheit im Umkreis der Anlage gesorgt werden. Zur Kühlung und Wartung muss laut der Angaben von ABB ein freier Raum von 5,5m Tiefe, 3,6m Höhe und 1m Breite vorhanden sein.

Zusätzlich sollten auch ausreichend Nebenräume für weitere elektrische Komponente vorgesehen werden. Auf Basis verschiedener Referenzprojekten, wie z.B. Pumpspeicherwerke Erzhausen und Wehr, lässt sich ein grober untertägiger Platzbedarf für die elektrischen Komponenten abschätzen. Beispielsweise sind die Nebenräume des PSW Erzhausen, obwohl hier vier Maschinensätzen vorhanden sind, mit Batterien, Umrichter und Automatisierungs- und Schutzschränke ca. 20m x 5m groß. Die in Abbildung 4-6 zusammengestellte Gesamtdimensionierung von 30m x 15m x 15m [Breite x Länge x Höhe] ist eine sehr konservative Abschätzung, die in einer konkreteren Anlageplanung und -Anordnung näher zu untersuchen und zu optimieren ist.

### 4.3 Kabelableitung

Eine große Herausforderung liegt in der elektrischen Verbindung der untertägigen und übertägigen Komponenten miteinander. Neben Kommunikations- und Leittechnik sind der Hauptanschluss des Maschinengenerators und die Eigenversorgung zu nennen. Während zwei ausreichend voneinander entfernte 6kV Kabelsysteme mit der entsprechenden Leistungskapazität für eine hohe Zuverlässigkeit der Eigenversorgung sorgen und keine besonderen Installations- und Genehmigungsschwierigkeiten verursachen, sind Hochspannungskabel mit 110kV eher ungewöhnlich im Bergbau. Dabei erfordern die folgenden Punkte eine besondere Beachtung:

- Berücksichtigung der Energieverluste und damit des erforderlichen Kühlungsmechanismus bei unterirdischen Ansätzen
- Arbeitsschutz aufgrund hoher magnetischer Felder sowie Kabelfehler in der Kabelumgebung
- Berücksichtigung des Eigengewichts und der maximalen durchführbaren Kabellänge
- Durchführbarkeit einer schadensfreier Installation und eventueller Wartungs- und Revisionsarbeiten

In vielen Pumpspeicherwerken sind die Maschinen- und Trafokavernen unterirdisch gebaut, bei denen Hochspannungskabel von Trafokavernen bis zu Tagesoberfläche durch Kabel- bzw. Energieableitungsstollen ausgeführt werden (siehe Abbildung 4-8).

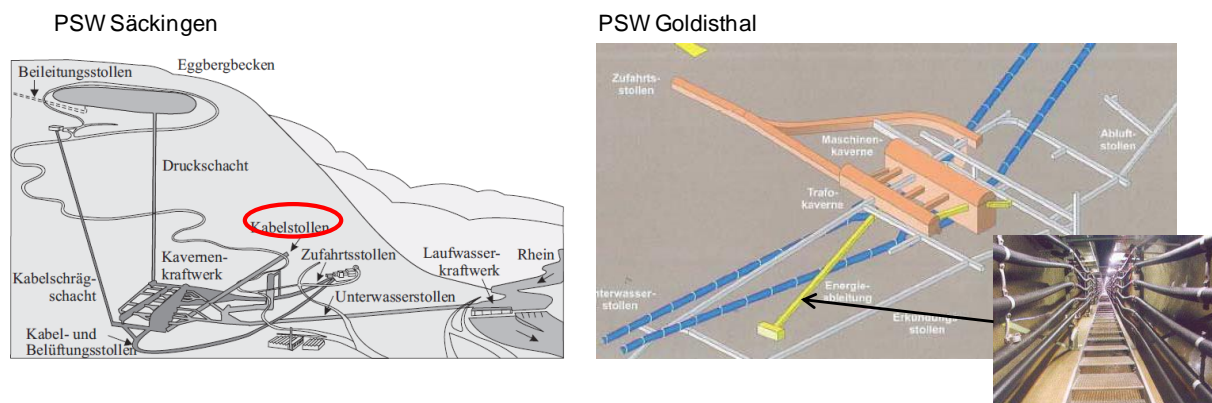


Abbildung 4-8: Kabelausleitung der Pumpspeicherwerke Säckingen und Goldisthal /20/,/21/  
So ist im Kraftwerk Hintermuhr (Engpassleistung 36 MW) ein 110kV-VPE-Kabelsystem (3x500 mm<sup>2</sup> Kupfer) durch einen 5.146m langen Frässtollen (3,20 m) bis zur Tagesober-

fläche gebracht /8/. Die folgenden Pumpspeicherwerke weisen ähnliche Ansätze auf, obwohl es sich dabei um 380kV handelt /22/:

- Kárahnjúkar-Island 690 MW: 1 km langer Kabelstollen mit 4m Durchmesser
- Mühlengraben 500MW: 1,5 km lang; Gefälle rd. 7,4 %
- Säckingen II 600MW: 0,5 km lang; Gefälle rd. 66 %
- Habsberg 1200MW: 1,3 km lang; Gefälle rd. 7,6 %

Allerdings wird es nah in der Umgebung des Gebirges nicht bergab gehen, weswegen eine ähnlich kurze Schrägbohrung bis zur Tagesoberfläche in diesem Fall nicht möglich ist. Da die Untersuchung eines optimierten Stollenverlaufs außerhalb des Rahmens dieses Projekts liegt, bleibt diese Option zunächst außer Betracht. Im Folgenden wird die Möglichkeit betrachtet, wie die Kabel direkt durch einen vertikalen Schacht bis zur Erdoberfläche gebracht werden können.

#### **4.3.1 Variante: ein separater Kabelschacht**

Die einfachste Lösung wäre, einen ganz separaten Kabelschacht abzuteufen. Hierdurch erfolgt eine vollständige Abtrennung der Hochspannungskabel und Beförderungsflächen und werden dadurch sämtliche Risiken bezüglich Beschädigungs-, Elektromagnetischen Strahlungs-, und Kabelfehlergefahren sowie Genehmigungsrisiken vermieden. Nachteilig könnten dann bei der Abteufung zusätzlich entstanden Kosten sein, denn die Abteufung eines neuen Schachtes ist erheblich aufwändiger als einen schrägen Stollen aufzufahren. Diese Kosten-Nutzen-Analyse erfordert eine besondere Beachtung bei einer konkreten Planung.

#### **4.3.2 Variante: Gemeinsame Nutzung des Hauptschachts**

Der zur Nachnutzung des Bergwerks Grund in Frage kommende Schacht ist der Wiemannsbuchtschacht mit einem Durchmesser von 3,5m. Zusätzlich hierzu müsste ein zweiter Schacht aus diversen bergbautechnischen Gründen abgeteuft werden. Eine Überlegung wäre eine gemeinsame Nutzung einer dieser Schächte, wobei der Hochspannungskabelbereich durch ausreichend starke Abschottung von dem Transportbereich abgetrennt werden müsste, um jegliche Beschädigungen beim Transportieren von Maschinenteilen sowie Explosionsgefahren bei Kabelfehlern und Kurzschlüssen im Transportbereich auszuschließen. Die Abtrennung eines Bereichs aus dem Wiemannsbuchtschacht-Querschnitt könnte aber die Transportmöglichkeit von größeren Maschinentei-

len eventuell einschränken. Daher sollte in diesem Fall der zweite Schacht entsprechend größer abgeteuft werden, damit ausreichend Platz für beide Bereiche vorhanden bleibt. Die Abschottung des Hochspannungskabelbereichs könnte im Querschnitt wie in Abbildung 4-9 aussehen. Eventuelle Kostenvorteile sowie Konstruktion, Dimension und Baumaterial der Abschottung zur Gewährleistung der vorgegebenen Sicherheitsmaßnahmen sollten in vertiefenden Arbeiten näher untersucht werden. Hierzu zählen auch die Wärmeentwicklung im Kanal aufgrund der Kabelverluste sowie der Mindestabstand des Transportbereichs zur Einhaltung der gesetzlichen Grenzen der elektromagnetischen Strahlungen, die in Kapiteln 4.4 und 4.5 untersucht werden.

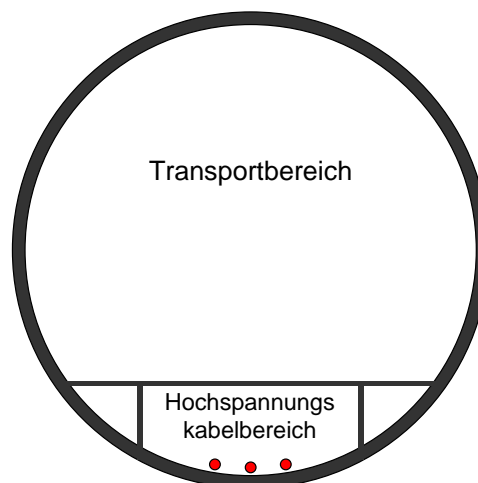


Abbildung 4-9: Schematische Darstellung der Abschottung des Hochspannungskabelbereichs

#### **4.3.3 Variante: Mittelspannungskabel**

In dieser Variante werden die Mittelspannungsausleitungen des Generatorleistungsschalters direkt bis zur Erdoberfläche gebracht. In der Leistungsklasse von 118 MVA und der angegebenen Generatorspannung von 15kV besteht allerdings kein konventionelles Kabel, das einen etwa 4,5 kA großen elektrischen Strom übertragen kann. Die von VOITH Hydro im Angebot stehende Generatorableitung mit 1000m Länge hat zusätzlich einen 3-phasigen Verlust von 750 W/m. Über 700m würde das 0,5 MW bedeuten, was aber auch eine erhebliche Kühlleistung erfordert (vergleiche Kapitel 4.5). Weitere Daten bezüglich möglicher Installationsbesonderheiten fehlen an dieser Stelle. Es lässt nur sagen, dass die Mittelspannungsvariante eventuelle Erleichterungen beim Genehmigungsprozess aber auch erhebliche Leistungsverluste verursachen kann. Außerdem müsste in diesem Fall der Transformator auf dem Betriebsgelände des Erzbergwerks installiert werden. Dadurch werden sämtliche Transportschwierigkeiten diesbezüglich vermieden.

#### 4.4 Elektromagnetische Strahlung

Zunächst werden die elektromagnetischen Felder der Kabel untersucht, um jegliche Strahlungsgefahren bei Varianten wie die gemeinsame Nutzung des Schachts als Transport und Energieableitung zu vermeiden.

Die Abschirmung eines Kabels lässt kaum elektrische Felder aus den Kabeln heraus. Zur Betrachtung der magnetischen Felder ist zunächst der durch die Kabel fließende Strom zu ermitteln. Bei einer angenommenen Nennscheinleistung des Transformators von 118 MVA basierend auf die Angaben von VOITH Hydro und eine Spannung von 110kV liegt der Strom bei:

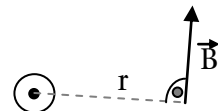
$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 118 \text{ MVA}$$

$$\rightarrow I = 619 \text{ A} \quad (10)$$

Jetzt kann der Betrag der magnetischen Flussdichte B abhängig vom Strom und dem Abstand zu den Kabeln nahezu wie folgt berechnet werden<sup>10</sup>:

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{I}{2\pi r} [T]$$

magnetische Feldkonstante  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$



Luft  $\mu_r = 1$

$$\rightarrow B = 0,2 \cdot \frac{I}{r} [\mu T] \quad (11)$$

Da es sich hier um ein System aus drei 110kV-Einleiter Kabeln handelt, nimmt die Komplexität der Flussdichteberechnung aufgrund der Phasenverschiebung der Kabel sowie der unsymmetrischen Anordnung zu, wenn sie nebeneinander an der Schachtwand befestigt werden. Daher wird die Gesamtflussdichte aller Leiter einer flachen Anordnung (siehe Gleichung(12) & Abbildung 4-10) anhand MATLAB simuliert.

$$B_1 = 0,2 \cdot \frac{\sqrt{2}I \cdot \sin(\varphi - \frac{2\pi}{3})}{\sqrt{(x+a)^2 + y^2}}$$

---

<sup>10</sup> Die Einwirkung des Isolierungs- und Abschirmungsmantels auf die magnetische Flussdichte wurde als vernachlässigbar angenommen



$$B_2 = 0,2 \cdot \frac{\sqrt{2}I \cdot \sin(\varphi)}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$B_3 = 0,2 \cdot \frac{\sqrt{2}I \cdot \sin(\varphi + \frac{2\pi}{3})}{\sqrt{(x-a)^2 + y^2}}$$

$$B_x = \sum_1^3 B_i = B_1 \cdot \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{a+x}{y}\right)\right) + B_2 \cdot \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right)\right) + B_{32} \cdot \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{x-a}{y}\right)\right)$$

$$B_y = \sum_1^3 B_i = B_1 \cdot \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{a+x}{y}\right)\right) + B_2 \cdot \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right)\right) + B_{32} \cdot \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{x-a}{y}\right)\right)$$

$$B_{(x,y)} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (12)$$

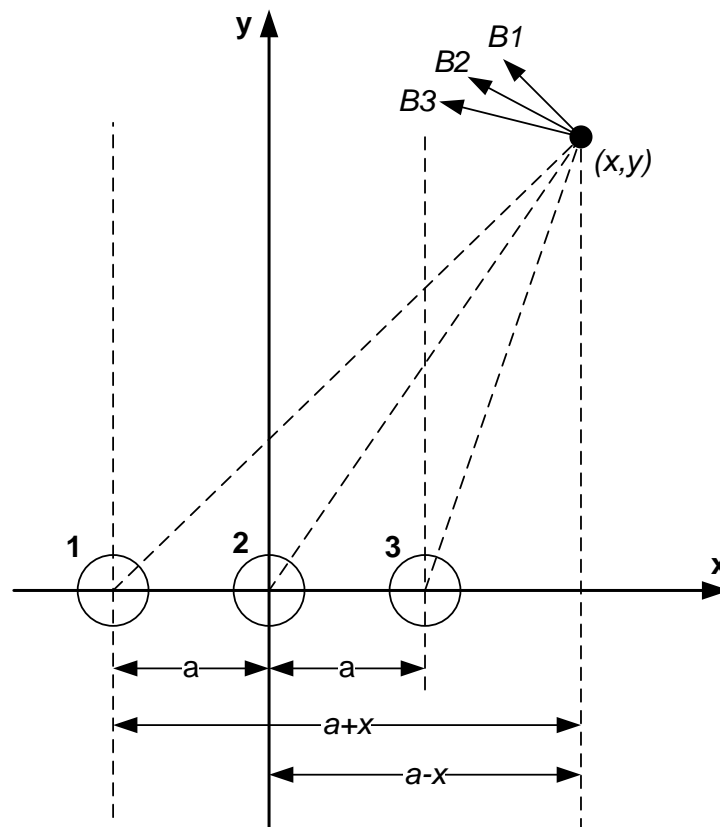


Abbildung 4-10: Magnetische Flussdichte einzelner Kabel

Danach wurde angenommen, dass die 110kV Kabel mit einem Außendurchmesser von 70 mm installiert sind. Zusätzlich wurde der Parameter a als Abstand der Kabel zueinander mit zwei Werten eingesetzt (70 mm und 500 mm), damit der Einfluss dieses Parameters deutlich gemacht wird /23/ (siehe Abbildung 4-11 und Abbildung 4-12). Zur Erläuterung

der beiden Rotlinien sollte hinzugefügt werden, dass, wie bereits in Kapitel 4.1 erwähnt wurde, die höchstzulässige magnetische Flussdichte bei 100  $\mu\text{T}$  liegt. Allerdings ist bei der Berufsgenossenschaftlichen Vorschriften (BGV) vorgeschrieben, dass der zulässige Wert der magnetischen Flussdichte bei einer Frequenz von 50 Hz bei 1358  $\mu\text{T}$  liegt /28/. Diese Unfallverhütungsvorschrift ist im Arbeitsschutz für Bereiche, in denen elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder zur Anwendung kommen, gilt aber nicht wenn die 26. BImSchV zur Anwendung kommt. Demnach umfasst der Geltungsbereich der Unfallverhütungsvorschrift nicht Bereiche außerhalb des Betriebsgeländes sowie auf dem Betriebsgelände befindliche Wohn- und Gesellschaftsbauten, Kindergärten, Altenheime und Schulen, Anlagen und Einrichtungen für Sport, Freizeit und Erholung, soweit die Allgemeinheit Expositionen durch EM-Felder ausgesetzt ist. Unabhängig vom Anwendungsfall kann durch die Ergebnisse (siehe Abbildung 4-11 und Abbildung 4-12) die als mindestens einzuhaltende Abstände zu den Kabeln je nach Kabelanordnung ermittelt werden. Hier ist darauf hinzuweisen, dass sich die magnetischen Felder einzelner Leiter bei größeren Kabelabständen weniger aufheben. Idealer Fall wäre es, wenn sich alle drei Leiter in einem Punkt befinden würden:

$$\alpha = 0 \rightarrow B = 3 \cdot 0,2 \cdot \frac{\sqrt{2}I}{\sqrt{(x+a)^2 + y^2}} \cdot \left( \sin(\varphi) + \sin\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \right) = 0$$

$$\text{wobei } \left( \sin(\varphi) + \sin\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \right) = \sin(\varphi) - 0,5 \cdot \sin(\varphi) - 0,5 \cdot \sin(\varphi) = 0$$

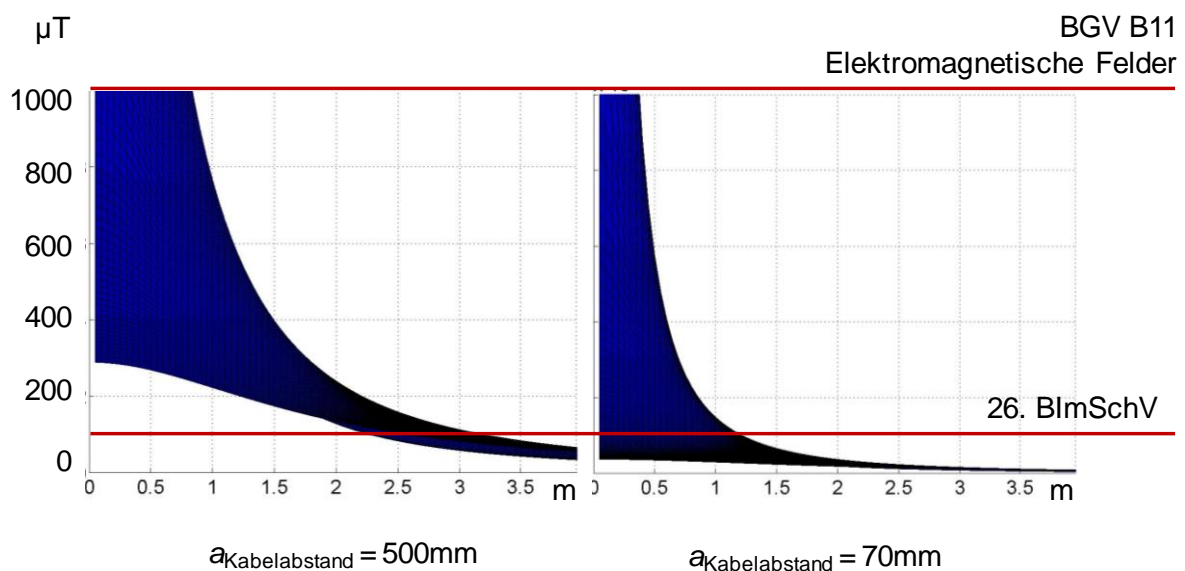


Abbildung 4-11: Magnetische Felder in Abhängigkeit für die Varianten a=70mm und a=500mm

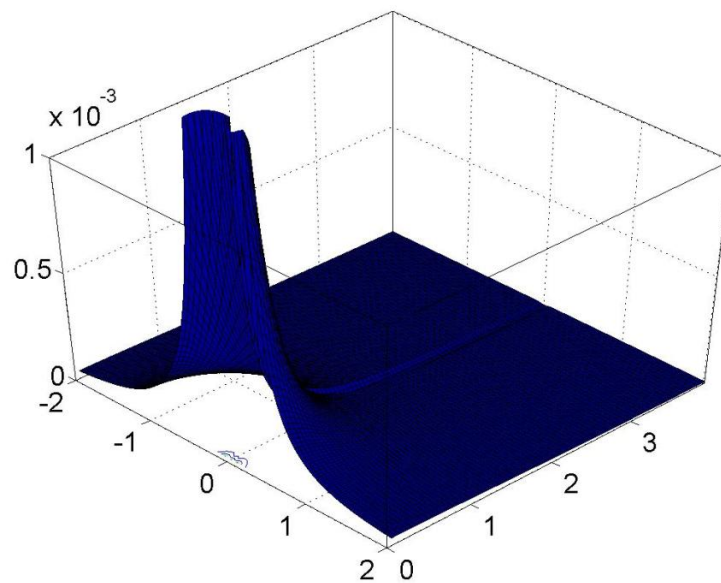


Abbildung 4-12: Resultierende magnetische Flussdichte um das 110kV Kabelsystem (a=500 mm)

#### 4.5 Kabelkühlung

Im Weiteren wurde die Einwirkung der Kabelabwärme auf die umströmende Lüftung untersucht. Unabhängig von den oben genannten Varianten wird angenommen, dass ein geschlossener Bereich über eine Länge von ca. 700 m durch eine pro Länge konstante Wärmeerzeugung erwärmt wird. Als Angabe sind dann Eintrittstemperatur, maximal zulässige Kabelaußentemperatur und wenn zwangsgekühlt, Volumenstrom der Luft im Kanal notwendig. Der Mittelwert der Austrittstemperatur der Luftströmung ist über die Gleichung:

$$T_{\text{Austritt}} = \frac{\dot{Q}_{\text{zu}}}{\rho \dot{V} c_p} + T_{\text{Eintritt}}$$

$\dot{Q}_{\text{zu}}$  [W] Zugeführte Wärme, Leisterverlust

$\rho$   $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$  Luftdichte

$c_p$   $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right]$  isobare Wärmekapazität der Luft

$\dot{V}$   $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]$  Luftvolumenstrom =  $v$   $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$  Luftgeschwindigkeit  $\cdot A[\text{m}^2]$  Kanalquerschnitt (13)

zu berechnen. Die fehlende Information dabei ist allerdings die Temperaturverteilung und damit die höchste Kabelaußentemperatur. Das erfordert aber eine genaue Untersuchung der Luftströmung entlang dem Kanal. Im Falle einer zweidimensionalen Idealgas-

strömung ohne Phasenänderungen und ohne chemische Reaktion ergeben sich die folgenden Gleichungen /27/:

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = 0$$

Kontinuitätsgleichung

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\eta \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}\eta \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \eta \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) + \rho g_x$$

Impulsgleichung x-Richtung

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2\eta \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}\eta \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \eta \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) + \rho g_y$$

Impulsgleichung y-Richtung

$$\rho u c_p \frac{\partial T}{\partial x} + \rho v c_p \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

Energiegleichung (14)

Diese Gleichungen sind aber selbst für eine einfache Geometrie nur numerisch zu lösen. Beim Kabelkanal handelt es sich um eine dreidimensionale Geometrie, die nicht wie eine flache Ebene oder ein durchströmtes Rohr behandelt werden kann. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Bergbau wurde eine vereinfachte Kanalgeometrie zusammen mit einer beispielhaften Kabelanordnung anhand ANSYS simuliert, um das Strömungsverhalten zu untersuchen (siehe Abbildung 4-13).

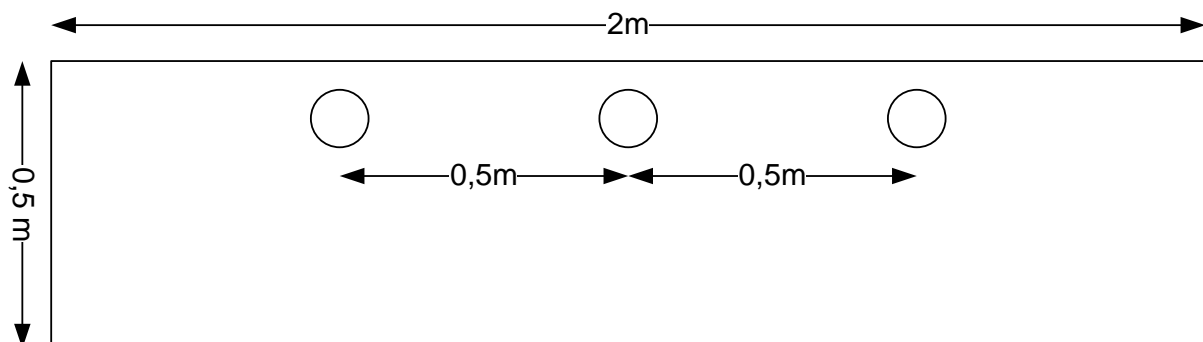


Abbildung 4-13: Beispielhafte Dimensionierung eines Kabelkanals

Da es sich aber um die nicht-kommerzielle Lizenz dieser Software handelt, besteht eine Einschränkung bei der Vermaschung der Geometrie, denn diese Lizenz kann nur eine beschränkte Anzahl von tetragonalen Maschen berechnen (ca. 9 Millionen). Eine hohe Ge-

Genauigkeit auf dem Querschnitt (2m x 0,5m) würde aber eine hohe Genauigkeit in der Länge (700 m) bedeuten, was aber zu einer enorm großen Anzahl von Maschen führen würde. Deswegen wurde die Simulation auf hundertstel der gesamten Strecke, nämlich 7m, beschränkt. Als Eintrittstemperatur der Luft wurde 25°C angenommen, die laut Bergbau die zulässige untertägige Arbeitsumgebungstemperatur ist. Die Gebirgstemperatur wurde aufgrund fehlender Daten zunächst konservativ auf 30°C gesetzt<sup>11</sup>. Der Volumenstrom ist zu 10 m<sup>3</sup>/s gesetzt, wobei mit dem angenommenen Querschnitt und bei einer gleichmäßigen Geschwindigkeitsverteilung eine Strömungsgeschwindigkeit von 10 m/s von unten nach oben herrschen würde. Dieser Volumenstrom könnte z.B. eine Abzapfung aus dem ausziehenden Schacht sein. Dabei kann aber auch die durch das Befüllen und Entleeren der Becken entstehende Luftströmung gezielt in den Kabelkanal geleitet werden, damit die Kühlleistung erbracht wird. Auf Basis der Gleichung (15) fließt bei voller Leistung ein Volumenstrom von ca. 15 m<sup>3</sup>/s in die Turbine bzw. Pumpe.

$$P = \dot{m} \cdot g \cdot h = \rho \cdot \dot{V} \cdot g \cdot h$$

$$\dot{V} = \frac{100 \cdot 10^6 [W]}{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 700m} = 14,58 \frac{m^3}{s} \quad (15)$$

Für den Ausgleich müssen die Becken denselben Volumenstrom an Luft ein bzw. ausatmen. Dieser Volumenstrom kann dann eine große Kühlleistung bereitstellen.

Zur Berechnung der Wärmefreisetzung der Kabel wurde der Wechselstrom-Leiterwiderstand eines 110kV Aluminiumkabels der Firma Tele-Fonica Kable GmbH mit 500 mm<sup>2</sup> Leiterquerschnitt näherungsweise bei 90°C eingesetzt /25/. Mit 0,0787 Ω/km ergibt sich dann:

$$P_{\text{Wärmeverlust}} = R \cdot I^2$$

$$P_{\text{Wärmeverlust}} = 0,0787 \frac{\Omega}{km} \cdot (619A)^2 = 30,155 \frac{W}{m}$$

---

<sup>11</sup> Die untertägige Temperatur ist im Erzbergwerk Grund unbekannt. Hier wurde die Temperatur des zweiten Standorts genommen, wobei 30°C die Temperatur der tiefsten Ebene entspricht. Der sinkende Temperaturverlauf bis zur Tagesoberfläche ist aber unbekannt. Außerdem muss dieser Parameter in ANSYS als Konstant eingegeben werden.

$Umfang_{kabel} = \pi \cdot D = 0,314m$  oder in anderen Worten Oberfläche pro 1m Länge<sup>12</sup>

$$\rightarrow P_{Wärmeverlust,3\text{ Kabel}} = 96,035 \frac{W}{m^2} \approx 100 \frac{W}{m^2} \quad (16)$$

Das Ersetzen in die Gleichung (13) ohne Berücksichtigung von Wärmeübertragung an das Gebirge ergibt eine Austrittstemperatur von:

$$T_{Aus} = \frac{\dot{Q}_{zu}}{\rho \dot{V} c_p} + T_{ein} = \frac{3 \cdot 30,155 \frac{W}{m} \cdot 700m}{1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 10 \frac{m^3}{s} \cdot 1 \frac{kJ}{kg \cdot K}} + 25^\circ C \approx 30^\circ C \quad (17)$$

Abbildung 4-14 zeigt die Temperaturverteilung die ersten 7 Metern nach der Simulation. Hierbei ist zu erkennen, dass nur ein sehr kleiner Bereich um die Kabel eine erhöhte Temperatur aufweist. Das ist auch dem Ergebnis der Gleichung (17) zu entnehmen, bei dem der Luftvolumenstrom über 700m Wärmeabgabe der Kabel lediglich um nur 5°C erwärmt wird. Auch wenn die Temperatur unmittelbar um die Kabel nach einer größeren Strecke stärker steigen sollte, kann durch künstliche Maßnahmen im Kanal für Turbulenz und damit Durchmischung sorgen, damit eine gleichmäßigere Temperaturverteilung sichergestellt wird.

Wie Abbildung 4-15 zu entnehmen ist, steigt zunächst die Temperatur rapid nach dem Eintritt. Das kommt aufgrund der hohen Turbulenz am Eintritt und der Geschwindigkeits- bzw. Temperaturbildung im Einlauf. Danach scheint die Strömung ein stabileres Profil erreicht zu haben.

An dieser Stelle ist zusätzlich auf die Daten eines Referenzprojekts mit 380kV Erdkabel der Firma Südkabel hinzuweisen /24/. Für die 2XS(FL)2Y 1x2500 RMS/250 220/380kV Kabel mit einem Leiterquerschnitt von 2500mm<sup>2</sup>, einem Durchmesser von 141mm und verlegt in einem Kanal mit 2m x 2,5m großer Querfläche wurden eine Einlass- und eine Auslass-temperatur von 35°C bzw. 42,78°C vorgeschlagen. Dabei sollte die Länge des Kanals maximal 3 km, die Wandtemperatur 15°C und die Luftströmung 7,2 m<sup>3</sup>/s betragen. Obwohl die Temperaturänderung der Luftströmung bei 7,78 K liegt, bildet sich aufgrund der höheren Wärmeverluste (85 W/m: hier ergibt sich über 3 km eine Gesamtwärme von 762 kW) sicherlich eine wärmere Grenzschicht um ein Kabel, die aber anscheinend ausrei-

---

<sup>12</sup> Kabeldurchmesser ist näherungsweise zu 10cm gesetzt, da auf dem Markt unterschiedliche Außendurchmesser mit diesem Leiterquerschnitt verfügbar sind

chend durch konvektive Strömung stabilisiert wird und somit für den Betrieb kein Problem verursachen sollte.

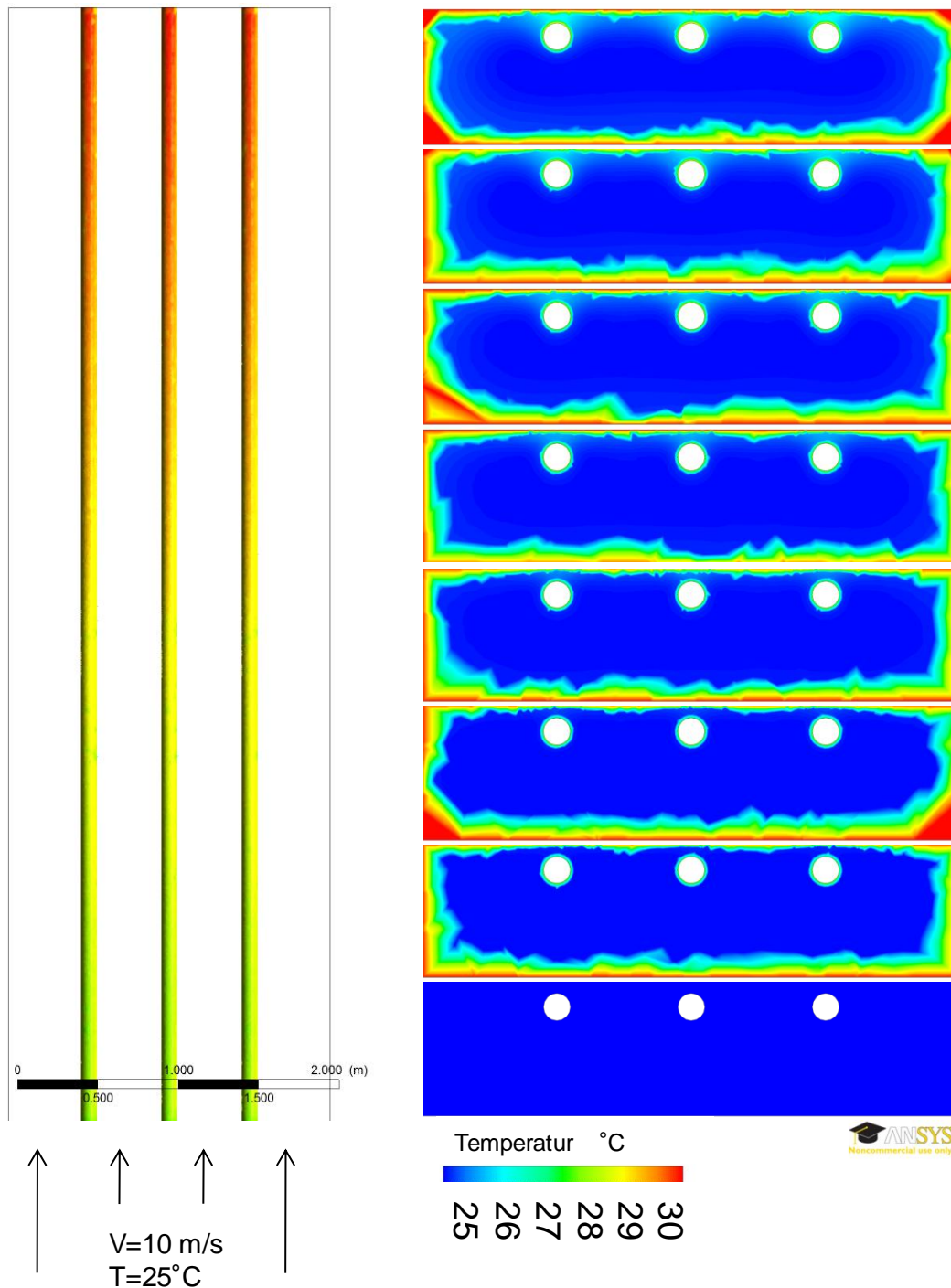


Abbildung 4-14: Temperaturprofile des Kabelkanals über 7m:  
links: Temperaturbildung auf der Oberfläche der Kabel  
rechts: Temperaturbildung des Querschnitts (Quelle: IBB, Agasty)



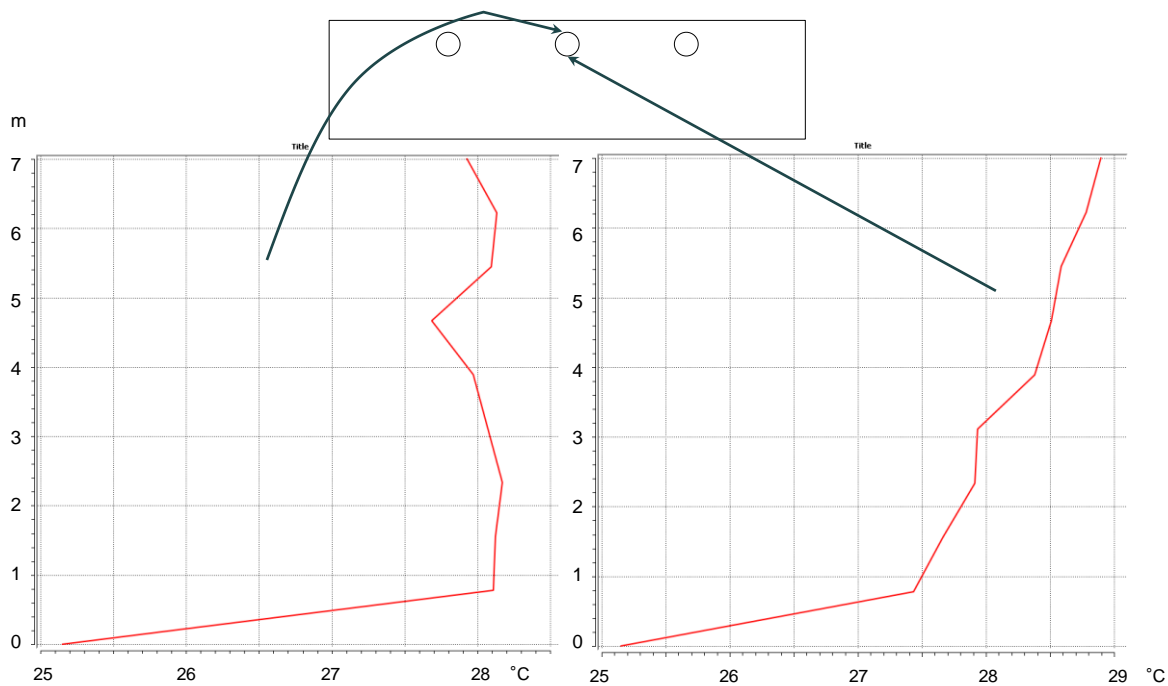


Abbildung 4-15: Temperaturbildung über 7m (Quelle: IBB, Agasty)

#### 4.6 Kabelinstallation

Wenn das Kraftwerk in Betrieb ist, ist das Kabel an der Wand des Schachtes gefestigt und mehrfach abgesichert. Zudem wird es durch mehrere Plattformen abgefangen, die die Belastung verringern. Bei der Verlegung des Kabels in den Schacht existieren diese Sicherheitsmaßnahmen noch nicht, so dass die Gewichtskraft der gesamten Strecke auf dem Kabel liegt. Um das Risiko bei der Verlegung des Kabels zu minimieren, muss der Leiter von einem Kran abgesichert werden, welcher von der Oberfläche aus bedient wird und das gesamte Gewicht des Kabels über die volle Länge abfangen kann. Für die Verlegung in den Schacht existieren laut den Kabelverlegungsexperten der Firma Vetter GmbH zwei gängige Methoden, die beide ihre Vor- und Nachteile haben:

- Die erste Methode ist das Ablassen des Kabels in den Schacht, bei der die meiste Arbeit über der Erde stattfindet. An die Spitze des Kabels wird ein Kabelziehstrumpf befestigt, welcher das Kabel mit dem Windenseil verbindet. Während des Ablassens werden weitere Strümpfe im Abstand von 10-20m angebracht. Auf diese Weise wird die auf das Kabel wirkende Zuglast auf das Windenseil übertragen und somit eine Überlastung verhindert. Nach senken des Kabelstranges wird der Schacht mit einem Aufzug befahren und die Strümpfe an der Wand des Schachtes befestigt, womit der Kabel im Schacht fixiert ist. Das Risiko bei dieser Methode liegt darin,

dass bei einem reißen des Kabels keine Bremsmöglichkeiten vorhanden sind, so dass das Kabel unkontrolliert in die Tiefe stürzen kann.

- Laut Vetter ist die sicherere Methode des Verlegens das Hochziehen des Kabels aus dem Stollen auf die Oberfläche. Auch bei dieser Methode wird der Leiter mit Hilfe der Strümpfe an das Windenseil befestigt, welcher das Kabel auf die Oberfläche befördert. Im Schacht kann das Kabel durch Zwischenebenen abgefangen werden, wodurch seine Belastung abgesenkt wird. Der Nachteil bei dieser Methode liegt darin, dass sich der gesamte Kabelstrang vorher unter Tage befinden muss, was einen weiteren Transportaufwand und größere Platzprobleme unter Tage bedeutet.

Um die Zugfestigkeit der Kabel zu überprüfen, werden zunächst Aluminium- und Kupferkabel betrachtet, die für den berechneten Strom (619 A) bei einer Nennscheinleistung von 118 MVA und 110 kV geeignet sind. Laut der Empfehlung von Harz Energie sollten Aluminiumkabel mit  $500\text{mm}^2$  Leiterquersfläche verwendet werden. Ein solches Kabel von der Firma ABB (68,5 mm Außendurchmesser) kann bei Leitertemperaturen von 60 und 95°C einen elektrischen Strom von 620 bzw. 835A übertragen, wenn es von Luft umgeben ist. Für diesen Strombereich käme dann ein Kupferkabel der Firma ABB mit einem Leiterquerschnitt von  $300\text{mm}^2$  mit 63,9 mm Außendurchmesser in Frage (600 bzw. 815 A). Während das  $500\text{mm}^2$ -Aluminiumkabel 4,8 kg/m wiegt, beträgt das spezifische Gewicht eines  $300\text{mm}^2$  Kupferkabel 5,9 kg/m. Beide besitzen einen Gleichstromwiderstand von  $0,06\ \Omega/\text{km}$  bei 20°C. Nun ist die Frage, welches Kabel bei der Erstinstallation einmalig ihr eigenes Gewicht halten kann. ABB gibt für die Aluminium- und Kupferkabel 40 bzw. 70 N/mm<sup>2</sup> als die maximal zulässige Zugkraft an/23/. Für das  $500\text{mm}^2$ -Aluminiumkabel würde dies ein zulässiges Gewicht von ca. 2 Tonnen und für das  $300\text{mm}^2$ -Kupferkabel 2,1 Tonnen bedeuten. Übertragen auf die Länge heißt das eine maximale Länge von 425m bzw. 363m. 700m von einem Aluminium- und einem Kupferkabel würden 3,4 bzw. 4,1 Tonnen wiegen. Daraus lässt sich sagen, dass für denselben Strom und die gleichen ohmschen Verlusten das Kupferkabel um ca. 20% mehr wiegt, besitzt aber einen um nur 7% kleineren Durchmesser. Trotzdem kann keines der beiden Materialien das Gewicht eines 700m langen Kabels tragen. Für einen weiteren detaillierten Vergleich sind aber Daten zu Herstellungskosten und maximal herstellbaren Längen notwendig.

Zudem könnte die Überschreitung des Gewichts und der herstellbaren Gesamtlänge durch ein mehrteiliges Kabel überwunden werden. Diese Teile werden dann anhand Kabelmuffen miteinander verbunden. Eine Kabelmuffe der Firma ABB für 110kV Kabel mit

500mm<sup>2</sup> Leiterquerschnitt wiegt ca. 25kg, ist 1,4m lang und hat einen Durchmesser von 170mm. Laut Angaben des Ansprechpartners der Kabelzubehörabteilung von ABB können diese Muffen Problemlos vertikal installiert werden. Bei der Installation der Kabel muss nur darauf geachtet werden, dass die Muffe nicht unter dem Gewicht des Kabel steht. Zusätzlich sind bei der Befestigung der Kabel wärmeabführende Klemmen zu verwenden, damit Hotspots an diesen Stellen vermieden werden.

## **5. Analyse der energiesystemtechnischen Standortkriterien des Modellbergwerks II**

Als zweiter Standort wurde das ehemalige Erzbergwerk Pöhla gewählt. Wie in Abbildung 5-1 dargestellt, liegt dieser Standort in Zweibach südöstlich von der Stadt Pöhla und ca. 1 km entfernt von der Deutschland-Tschechien-Grenze. Die nahliegenden Umspannwerke sind das 110kV Umspannwerk in Rittersgrün ca. 7 km nordwestlich, das 110kV Umspannwerk in Crottendorf ca. 7 km nordöstlich und das 380/110kV Umspannwerk in Zwönitz ca. 20 km nördlich vom Standort Zweibach. Eine 110kV Freileitungstrasse geht von Rittersgrün bis Zwönitz. Eine 110kV Freileitungstrasse geht von Crottendorf bis Zwönitz, wo sie sich am Standort Markersbach mit der 380kV Trasse des Pumpspeichers trifft und parallel dazu bis Zwönitz weitergeht. Die wichtigsten Randbedingungen zur Auslegung im zweiten Standort lauten:

- Gesamtvolumen von Ober- bzw. Unterbecken: 345.300 m<sup>3</sup>
- Nutzbares Volumen von Ober- bzw. Unterbecken: 283.000 m<sup>3</sup>
- Fallhöhe: 600 m
- Aus den oben aufgeführten Daten ergibt sich bei voller Speicherung eine potentielle Energie von 1.665.740 MJ oder 462,705 MWh. Sie wird durch die Formel (6) berechnet. Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen, ist hier auch die getrennte Aufstellung von einem Turbinen- und einem Pumpensatz in der Kaverne vorgesehen. Ebenso wurde eine Arbeitsverfügbarkeit für einen Zeitraum von  $\Delta t = 4 \text{ h}$  angenommen. Unter Berücksichtigung der wichtigsten Randbedingungen wird der Volumenstrom bei vollständiger Befüllung und Entleerung im Zeitraum von  $\Delta t = 4 \text{ h}$  berechnet:

$$\dot{V} = \frac{283000 \text{ m}^3}{4 \text{ h}} = 19,7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (18)$$



Abbildung 5-1: Lage des Erzbergwerks Pöhla (Quelle: IGMG)

Bei vollständiger Befüllung wird die elektrische Leistung der Pumpe ( $P_{el}$ ) unter Annahme eines Gesamtwirkungsgrads ( $\eta_{pumpe}$ ) von 0,86 aus dem ersten Modellbergwerk durch die folgende Formel berechnet.

$$P_{el} = \frac{E_{Pot}}{\eta_{pumpe} \cdot \Delta t} = \frac{462,7 MWh}{0,86 \cdot 4h} = 134,51 MW \quad (19)$$

Bei vollständiger Entleerung wird die elektrische Leistung des Generators ( $P_{el}$ ) unter Annahme eines Gesamtwirkungsgrads ( $\eta_{turbine}$ ) von 0,89 durch die folgende Formel berechnet.

$$P_{el} = \frac{E_{Pot}}{\eta_{turbine} \cdot \Delta t} = 0,89 \cdot \frac{462,7 MWh}{4h} = 102,95 MW \quad (20)$$

Somit kann die Einspeisungsleitung der zweiten Modellanlage auch auf 100 MW<sub>el</sub> angenommen werden<sup>13</sup>. Im Folgenden werden sämtliche Komponenten, die den Stromtransport zwischen dem Maschinenhaus und Stromnetz ermöglichen, unter Beachtung der Standortkriterien näher untersucht. Es handelt sich dabei um den Anschluss des Motor-generators des Pumpspeicherwerks am Stromnetz, welcher für eine bessere Übersicht in „untertägige“ und „übertägige“ Komponenten aufgeteilt wurde. Aufgrund der Leistungs-ähnlichkeit zum ersten Modellbergwerk wird allerdings auf die entsprechenden Einfüh-rungen zum Erzbergwerk Grund verwiesen.

### **5.1 Übertägige Komponenten**

Es kann hier auch von einer Oberspannungsebene von 110kV ausgegangen werden. Nach Absprache mit dem zuständigen Netzbetreiber kann der Netzanschluss zum 110kV-Umspannwerk in Zwönitz realisiert werden. Da es sich östlich vom Standort Zweibach um Wasserschutzgebiete handelt (siehe Abbildung 5-2), wo grundsätzlich keine Bauvorhaben zugelassen sind, sollte die Netzanbindung nach Nordwesten in Richtung Rittersgrün gehen. Da es sich hier auch um Vogelschutzgebiete handelt, wird für die betroffene Strecke eine Erdkabelverlegung bevorzugt.

Nach einer kompletten Kabelverlegung bis Rittersgrün wird der Anschluss zum Um-spannwerk Zwönitz durch entweder eine Verstärkung der bestehenden 110kV-Leitung von Envia Netz oder Neubau einer 110kV-Freileitung auf dieser bestehenden Trasse nach Zwönitz realisiert werden (siehe Abbildung 5-3). Bezüglich einer ober- und unterirdischen Schaltoption oder beides ist auf Kapitel 4.2 und Abbildung 4-4 zu verweisen.

Aufgrund der ähnlichen Maschine wird die Eigenversorgung ähnlich wie beim ersten Modellbergwerk sein (siehe Kapitel 4.1.3.). Zusätzlich zu Tabelle 4-2 kommt noch eine untertägige E-Lok, deren elektrische Leistung 30 bis 50 kW betragen könnte. Somit ergibt sich auf eine Gesamtleistung von 3 MW, die allerdings nur während der Bauphase erreicht wird. Im Betrieb liegt der maximale Eigenbedarf ohne die temporären für Bergbau-arbeiten benötigten Maschinen bei 2,1 MW (-30%).

---

<sup>13</sup> 2,1 MW Eigenbedarf im Betrieb (siehe Kapitel 4.1.3) und 70 kW ohmsche Kabelverluste der Kabel bis zur Erdoberfläche (siehe Kapitel 4.5)



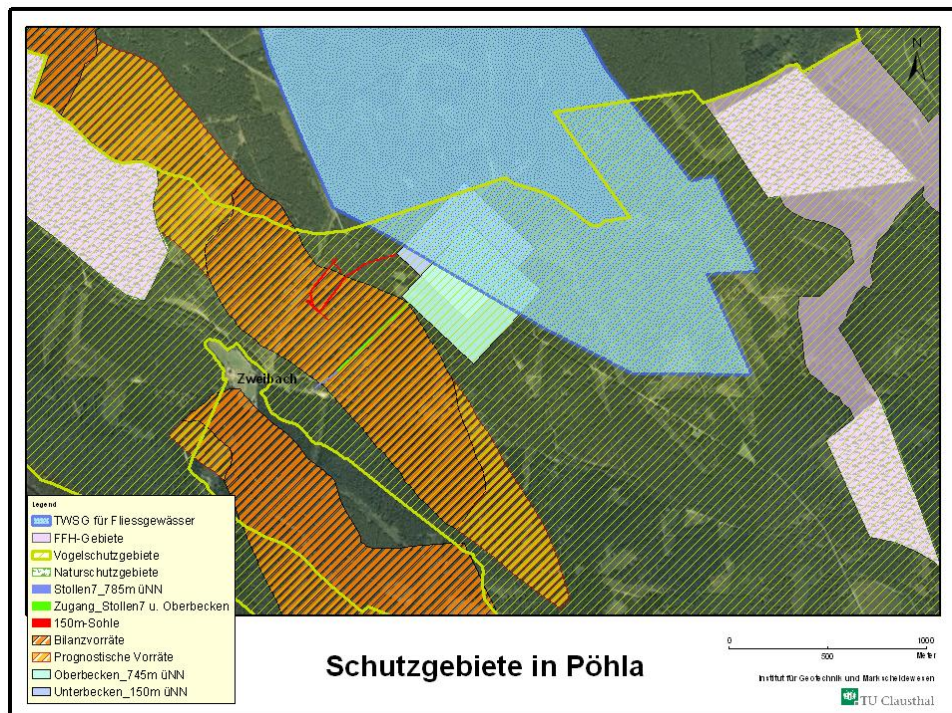


Abbildung 5-2: Schutzgebiete in Pöhla (Quelle: IGMG)

## 5.2 Untertägige Komponenten

In Abbildung 4-6 sind die grundsätzliche Komponenten, die den Anschluss des Generators zur Energieableitungskabel ermöglichen, dargestellt. Aufgrund der Leistungsähnlichkeit der beiden Modellbergwerke werden dabei auch keine wesentlichen Unterschiede verursacht (siehe Kapitel 4.2, Abbildung 4-6 und Abbildung 4-7).

## 5.3 Kabelableitung

Die Auswahl der Kabel erfolgt wie beim ersten Modellbergwerk (siehe Kapitel 4.3). Ein Vorteil im Erzbergwerk Pöhla liegt allerdings bei der Kabelinstallation in den vorhandenen Blindschächten, wodurch keine weiteren Komplexitäten aufgrund der Abschottung und weiteres in Frage kommen werden (siehe Abbildung 5-4). Im Prinzip wird das fast genauso wie die Variante „ein separater Kabelschacht“ des ersten Modellbergwerkes sein. Allerdings handelt es sich um keine durchführende vertikale Strecke, sondern, wie in Abbildung 5-4 dargestellt, es bestehen vier horizontale Zwischenstrecken: Sohle +120 (ca. 300 m), Sohle +240 (ca. 20 m), Pöhla Stollen (ca. 50 m) und Stollen 7 (ca. 150 m). Außer Sohle +240 sind die anderen drei zusätzlich zur Material- bzw. Personenbeförderung gedacht, welches eine Nebenauffahrung oder Abschottung zur Trennung des Hochspannungs- mit Transportbereich erfordert.

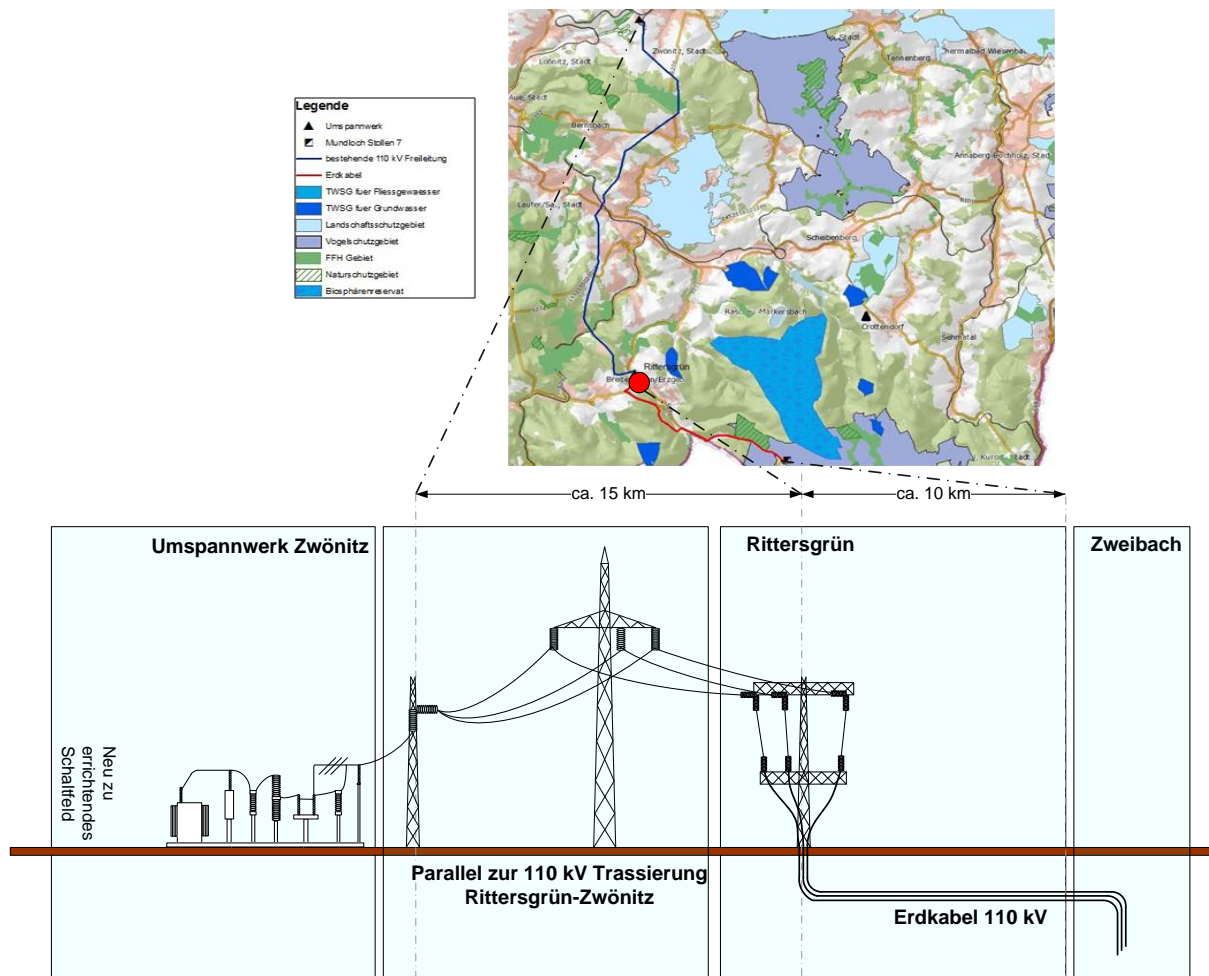


Abbildung 5-3: Kabel-Freileitungskombination für das Modellbergwerk Pöhla (Landkartequelle: IGMC)

## 5.4 Elektromagnetische Strahlung

Elektromagnetische Felder im Kabelschacht werden genauso wie die des ersten Modellbergwerks aussehen, mit dem Unterschied, dass aufgrund der exklusiven Funktion dieses Schachts zur Kabelführung keine Transportfunktion in Betracht kommt und somit keine Gefahren für die Arbeiter entstehen werden (siehe Kapitel 4.4).

## 5.5 Kabelkühlung

Der einzige Unterschied zum ersten Bergwerk liegt in den Unterbrechungen des Kabelschachts. Dieser Punkt ist aber eher als Vorteil zu betrachten, da die Unterbrechungen im Laufe des Kanals für eine Durchmischung der Lüftung und damit eine Minderung der Oberflächentemperaturen der Kabel sorgen (siehe Kapitel 4.5).



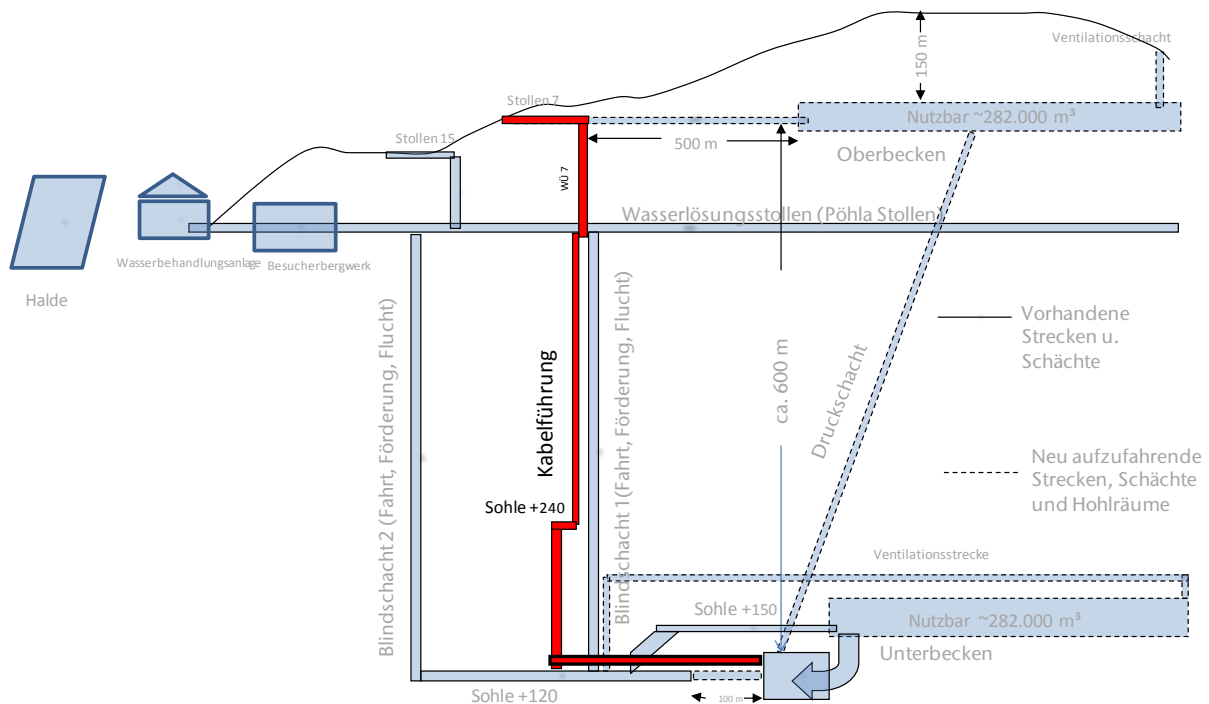


Abbildung 5-4: Kabelschacht des zweiten Modellbergwerkes (im Rot) (Quelle: IBB, Jarrah)

## 5.6 Kabelinstallation

Der zu betrachtenden Unterschied ist wie beschrieben bei der Kabelkühlung. Es handelt sich hier um vier Strecken mit 120, 360, 200 und 150m (von unten nach oben). Zunächst sollte der Biegeradius des Kabels beachtet werden, wenn von einer Strecke versetzt zu der nächsten übergegangen werden muss. Der Biegeradius von ABB-Kabeln sollte mindestens, wenn installiert, das Zehnfache des Außendurchmessers des Kabels betragen. Sollte das Kabel in einem Stück installiert werden, muss das beachtet werden. Bei 68,5mm Außendurchmesser würde dies 0,685m bedeuten (siehe Kapitel 4.6).

## 6. Zusammenfassung

Die Machbarkeit der Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien auf mindestens 20 Prozent bis zum Jahr 2020 basiert auf dem weiteren Ausbau der Windenergie. Durch die zunehmende Windeinspeisung werden die Leistungsschwankungen im Netz zunehmen. Dies erfordert Netzverstärkungs- und Netzausbaumaßnahmen, um die Energiequalität zu halten. Eine effiziente Integration von Windenergieleistung an Land und auf See in das elektrische Verbundsystem benötigt eine realistische Analyse der gesamten elektrischen Energieversorgungssituation in den kommenden Jahren.

Ein Szenario des zukünftigen Energieversorgungssystems wurde mit der Hilfe von Archiv-, Prognose- und Simulationsdaten erstellt. Die Daten über den Verbrauch (Last) und der schon vorhandenen Erzeugung, beispielsweise konventionelle Kraftwerke und Onshore Windparks, wurden Archiven entnommen und auf die prognostizierten Werte skaliert.

Die nicht vorhandenen offshore Windkraftanlagen wurden modelliert und simuliert, um die zusätzlich notwendigen Daten realitätsnah zu erzeugen. Das Windpark-Modell bildet das Verhalten eines realen Windparks unter Berücksichtigung der Positionierung der Anlagen und der mechanischen (inkl. Regelungs-) Parameter nach.

Das erstellte Szenario basiert sich hinsichtlich des Stromverbrauchs auf dem Energiekonzept 2050, das bis 2020 eine Reduktion des Stromverbrauchs um 10% im Vergleich zum Jahr 2009 prognostiziert. Zur effektiven Berücksichtigung der Überschussleistung aufgrund des Ausbaus der Windenergie müssen sowohl die auftretende Leistung als auch die Dauer der kritischen Situation abgeschätzt werden. Das Subtrahieren der simulierten Windenergie entsprechend der prognostizierten Leistung der Windanlagen vom Stromverbrauch ergibt dann den zeitlichen Verlauf der Restlast. Dabei ist im extremsten Fall eine Überschussleistung von ca. 20 GW zu beobachten, wobei die gesamten Überschussstunden ca. 500h betragen. Andere Studien wie Dena haben einen Leistungsüberschuss von 14 GW bei der kritischen Starkwind/Schwachlast Situation prognostiziert. Laut /26/ kommen die Starkwindzeiten zu vergleichsweise geringen Gesamtstunden vor. Im Jahr 2030 wären mit 68,5 GW Wind und 62,8 GW Photovoltaik Überschussleistungen von bis zu -29 GW mit jedoch einer insgesamt Überschussenergie von ungefähr 880 GWh zu erwarten. Das sind weniger als 0,5% der im Jahr 2030 angenommenen Stromerzeugung.

Wenn nur die Speicheranlagen ohne weitere begleitende Maßnahmen verwendet würden, könnte der Energieüberschuss bzw. das Energiedefizit nicht kompensiert werden. Es wurde festgestellt, dass die zu errichtenden Pumpspeicherwerke unter Tage nur einen Teil der benötigten Energiemenge aus „Windüberschüssen“ speichern und bei „Windflauten“ liefern könnten. Für den Restteil müssten weitere Maßnahmen (wie Regelkraftwerke, Lastmanagement, Import/Export usw.) eingesetzt werden. Aus diesem Grund wurden weitere Einsatzmöglichkeiten der Pumpspeicherwerke unter Tage zusätzlich untersucht. Ein „Peak Shave“ der Windleistung durch ein Pumpspeicherwerk unter Tage wurde simuliert. Dadurch wurde die Leistungsänderungsgeschwindigkeit des gesamten Systems reduziert. Im Rahmen einer gesamten Simulation wurden weitere Untersuchungen in Zusammenarbeit mit anderen Projektpartnern durchgeführt.

Schließlich wurde aus energiesystemtechnischer Sicht die Auslegung und Dimensionierung zwei Modellbergwerke nach den Annahmen auf Grundlage bergtechnischer Vorgaben zu typischerweise in Frage kommenden stillgelegten Bergwerken an zwei Standorten vorgeschlagen. Hierbei wurden grundsätzliche energiesystemtechnische untertägige und übertägige Komponenten, in Betracht gezogen. Die wichtigste Erkenntnis dabei ist die Notwendigkeit einer Einzelfallbetrachtung in jedem Bergwerk, da vorhandene Infrastrukturen und örtliche Gegebenheiten unterschiedliche Ansätze bei Installation und Transport von elektrischen Komponenten erfordern. Dies betrifft vor allem den Transport von großen Maschinenteilen wie z.B. beim Haupttransformator sowie die Installation von Hochspannungskabel.

## Literatur

- /1/ Becker, A. „Modellierung eines Offshore-Hybridkraftwerks aus Wind- Schwachgas- und Kavernenspeicherkraftwerk“ Studienarbeit 2008, der Technischen Universität Clausthal
- /2/ BMU 2007, „Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz“ . Erfahrungsbericht November 2007
- /3/ DENA-Netzstudie 2005, Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der Studie - „Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020“ (23.02.2005)
- /4/ DENA, Vattenfall Europe Transmission GmbH: „ Untersuchung der elektrizitätswirtschaftlichen und energiepolitischen Auswirkungen der Erhebung von Netznutzungsentgelten für den Speicherstrombezug von Pumpspeicherwerken (Kurz: NNE-Pumpspeicher) Abschlussbericht Berlin , November 2008.
- /5/ Gatzen C., Riechmann C., Stationäre Stromspeicher – zukünftiger Nischmarkt oder Milliardenengeschäft, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 61. Jg. (2011) Heft3
- /6/ Kießling, F., Nefzger, P., Kaintzyk, U.: Freileitungen, Planung, Berechnung, Ausführung, 5., vollst. neu bearb. Aufl., 2001, Springer, Berlin
- /7/ Lubosny, Zbigniew Wind Turbine Operation in Electrical Power Systems ISBN 3-540-40340-X, Springer Verlag 2003
- /8/ Salzburg AG, Kraftwerksgruppe Lungau: „ Strom aus Wasserkraft“ [http://www.salzburgag.at/fileadmin/user\\_upload/Infomenu/Unternehmen/Wasserkraftwerke/kraftwerkfolder\\_lungau.pdf](http://www.salzburgag.at/fileadmin/user_upload/Infomenu/Unternehmen/Wasserkraftwerke/kraftwerkfolder_lungau.pdf), Abruf 06.05.2010
- /9/ Umweltbundesamt, Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen; Juli 2010
- /10/ Vattenfall Europe Mining & Generation: „Energie aus Wasserkraft – Strom Erzeugen nach Bedarf“, [http://www.vattenfall.de/www/vf/vf\\_de/Gemeinsame\\_Inhalte/DOCUMENT/154192vatt/Bergbau\\_und\\_Kraftwerke/P0275299.pdf](http://www.vattenfall.de/www/vf/vf_de/Gemeinsame_Inhalte/DOCUMENT/154192vatt/Bergbau_und_Kraftwerke/P0275299.pdf), Abruf: 06.05.2010
- /11/ VDN, TransmissionCode 2003, Anhang D 1: Unterlagen zur Präqualifikation für die Erbringung von Primärregelleistung für die ÜNB, August 2003

- /12/ VDN, TransmissionCode 2007: Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber, Version 1.1, August 2007
- /13/ VDN, TransmissionCode 2007, Anhang D2, Teil 1: Unterlagen zur Präqualifikation von Anbietern zur Erbringung von Sekundärregelleistung für die ÜNB "Präqualifikationsunterlagen", November 2009
- /14/ FNN, TransmissionCode 2007, Anhang D2, Teil 2: Anforderungen für die Umsetzung des SRL-Poolkonzepts zwischen ÜNB und Anbietern "Anbieteranforderungen SRL-Poolkonzept", November 2009
- /15/ Verband der Netzbetreiber (2007): TransmissionCode 2007 – Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber. Berlin; 2007
- /16/ dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025.
- /17/ Mosonyi, E.: Wasserkraftwerke. Bd. I + II. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1966
- /18/ OMV (Österreichische Mineralölverwaltung): Häufig gestellte Fragen 380kV Trasse [http://www.omv.de/portal/01/de/!ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3\\_hzA0sTI2MDI0t\\_Yy83A08TNw8fLxNv4-AAAY\\_3glFT9gmXHRQC3NK4q/](http://www.omv.de/portal/01/de/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3_hzA0sTI2MDI0t_Yy83A08TNw8fLxNv4-AAAY_3glFT9gmXHRQC3NK4q/), Abruf 29.03.2011
- /19/ ABB, Technische Daten der Generatorschalter für Pumpspeicherkraftwerke, <http://www.abb.de/product/db0003db002618/a1a0d35b72bfd33ac125760f0039d0d4.aspx?productLanguage=ge&country=DE>, Abruf 29.03.2011
- /20/ Schluchseewerk AG (Hrsg.): 50 Jahre Schluchseewerk AG Freiburg – Bau und Betrieb großer Pumpspeicherkraftwerke. Freiburg, 1978
- /21/ VDE Bezirksverein Kassel: Exkursion in das Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal / Thüringer Wald, Teil 3: 400kV-GIS-Schaltanlage des PSW Goldisthal
- /22/ Schluchseewerk: Pumpspeicherkraftwerk Atdorf, Antragsunterlagen zum Raumordnungsverfahren, Variantenbetrachtung: PSW Mühlegraben, PSW Säckingen II, PSW Habsberg, April 2010
- /23/ ABB, Technische Daten für „XLPE Land Cable Systems“
- /24/ Südkabel GmbH, W. Lacher, 04.07.2005, Dokument Nr.: KSE-2005/08-B-02

- /25/ Tele-Fonica Kable GmbH, Technische Daten für Hochspannungskabel 2007
- /26/ M. Hundt, R. Barth, N. Sun, A. Voß; Kernkraftwerke und erneuerbare Energien – die Mär vom Stromkonflikt; Energiewirtschaftliche Tagesordnung 60. Jg. (2010) Heft 10
- /27/ Kneer, R.: Vorlesung Wärme- und Stoffübertragung, Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Ausgabe Wintersemester 2005/2006
- /28/ Berufsgemeinschaftliche Vorschriften B11, Elektromagnetische Felder vom 1. Juni 2001
- /29/ „VDI Lexikon Energietechnik“. hrsg. von Helmut Schaefer. VDI Verlag 1994
- /30/ „Die Nutzung regenerativer Energiequellen unter Aspekt der Energiekonditionierung“ C. Sourkounis, H. -P Beck, J. Wenske. DEWEG 1998 Anlage 2
- /31/ „Energiemanagement - “ Michel Bosse. Seminarberichte IEE-IPP an der TUC 1996
- /32/ „Mittelfristige Energieeinsatzoptimierung in Energieversorgungssystemen mit Kraft-Wärme-Kopplung“. Dissertation Maubach K.-D. Wuppertal 1994
- /33/ „implizit koordinierende Einsatzplanung integrierter Energieversorgungssysteme“ 53. Jahrgang (1999), Heft 7/8 S. 256-264
- /34/ „Einsatz von Energiespeichern aus Sicht der kurzfristigen Betriebsplanung in integrierten EVS“ R. Pfeiffer. Diss. Univ. Wuppertal 1997
- /35/ <http://www.wind-energie.de/de/technik/physik-der-windenergie/leistungskurve>  
Abruf am 01.04.2011
- /36/ Herr, M. : Prognosis and Optimization in Gas Supply Systems aus Erdöl und Kohle –Erdgas- Petrochemie vereinigt mit Brennstoffchemie. Bd.39-Heft 11, November 1986
- /37/ L. Yang: Entwicklung eines prognosebasierten Energiemanagementsystems für Photovoltaik Inselsysteme, Diplomarbeit, Technische Universität Clausthal, Clausthal 2011
- /38/ D. Eisenbach.: Künstliche Neuronale Netze zur Prognose von Zeitreihen, Diplomarbeit, Institut für Informatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster 2005

- /39/ M. Walter: Univariate Autoregressive Moving-Average-Prozesse und die Anwendung der Box-Jenkins-Technik in der Zeitreihenanalyse. Physica-Verlag, Würzburg. 1976.
- /40/ B. Ernst Entwicklung eines Windleistungsprognosemodells zur Verbesserung der Kraftwerkseinsatzplanung, Dissertation, Institut für Elektrische Energietechnik, Elektrische Energieversorgungssysteme, Universität Kassel, Kassel 2003
- /41/ B. Bettels, B. Ernst, K. Rohrig, Dr. P.Schorn: Schlussbericht zum Forschungsprojekt „Entwicklung eines Rechenmodells zur Vorhersage der Windleistung für mittlere und große Versorgungsgebiete“, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Förderkennzeichen 0329869, Durchgeführt durch Fördergesellschaft Windenergie e.V., Kiel, 2002
- /42/ F. Heindler : Energiemanagement und Stromeinkauf im liberalisierten Markt, Diplomarbeit, Institut für Elektrische Anlagen und Hochspannungstechnik, Technische Universität Graz, Graz 2001.
- /43/ M. Sonnenschein : „Demand Side Management“, Vorlesungsskript im Rahmen des E-Lecture „Dezentrale Energiesysteme“, Universität Oldenburg, Oldenburg 2007
- /44/ Waßhausen, D. : Einsatz und Funktionsweise von Energiemanagementsystemen, Gemeinschaftsseminar „Leittechnik und Energiemanagement“ IEE/IPP TU Clausthal, Juni 1998
- /45/ Institut für Elektrische Anlagen & Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement der Technischen Universität Graz: 110-kV-Kabel /-Freileitung. Eine technische Gegenüberstellung, 2005



*H. Weyer, U. Lindemann*

## ***Juristische Aspekte***



*Foto: EFZN / M. Schmidt*

# **Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke**

**Teilbereich: Institut für deutsches und internationales Berg- und  
Energerecht (IBER)**

**Endbericht**

**Goslar, 29. Juni 2011**

Institut für deutsches und internationales Berg- und Energerecht  
Arnold-Sommerfeld-Straße 6  
Postfach 1253  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon: +49 5323 72 3026  
Telefax: +49 5323 72 2507  
<http://www.iber.tu-clausthal.de>

## **Wissenschaftliche Leitung**

Prof. Dr. Hartmut Weyer  
Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht

## **Bearbeiter**

Ass. jur. Ulrich Lindemann  
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

## **Projektkoordination und Ansprechpartner**

Prof. Dr. Hartmut Weyer  
Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht  
Arnold-Sommerfeld-Straße 6  
Postfach 1253  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon: +49 5323 72 3026  
Telefax: +49 5323 72 2507  
<http://www.iber.tu-clausthal.de>

## **Kurzfassung**

Ein unterirdisches Pumpspeicherwerk ist bislang in Deutschland nicht realisiert worden. Daher liegen keine Erfahrungen hinsichtlich der rechtlichen Einordnung eines solchen Vorhabens vor. Im Rahmen dieses Teilberichts erfolgen daher grundlegende Darstellungen zu genehmigungsrechtlichen, eigentumsrechtlichen, energierechtlichen sowie haftungsrechtlichen Fragestellungen. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die Genehmigungsbedürftigkeit sowie deren Voraussetzungen gelegt, insbesondere nach immissionsschutzrechtlichen, bergrechtlichen, wasserrechtlichen, baurechtlichen, abfallrechtlichen und energiewirtschaftsrechtlichen Vorschriften sowie nach dem Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).

Eine Genehmigung erscheint nach dem derzeitigen Rechtsrahmen grundsätzlich möglich. Unbefriedigend ist allerdings, dass die bergrechtlichen Regelungen ein unterirdisches Pumpspeicherwerk nur am Rande erfassen. Zudem ist die Anwendbarkeit insbesondere wasserrechtlicher und UVP-rechtlicher Vorschriften, die für die Genehmigung wesentliche Bedeutung haben, teilweise ungeklärt. Die Prüfung der beiden Modellbergwerke Grund und Pöhla verdeutlicht, dass jedes untertägige Pumpspeicherwerk einer Einzelfallbetrachtung bedarf, da die genehmigungsrechtliche Situation standortabhängig ist. Aus verfahrensrechtlicher Sicht sind angesichts des Umfangs von Pumpspeichervorhaben konzentrierte Genehmigungsverfahren wünschenswert, d.h. eine gemeinsame Behandlung der Genehmigungsanforderungen in einem Verwaltungsverfahren. Insoweit können nach derzeitiger Rechtslage Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren nach § 20 UVPG hinsichtlich der Speicherbecken und möglicherweise nach §§ 67, 68 WHG hinsichtlich der Grundwasserhaltung Anwendung finden. Zudem sind konzentrierte Verfahren hinsichtlich der Netzanbindung durch Freileitung und hinsichtlich einer Aufhaldung von Gesteinsaushub vorgesehen.

In einem zweiten Abschnitt werden eigentumsrechtliche Fragestellungen erörtert. Hindernisse für die Realisierung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks können sich insbesondere durch entgegenstehendes Bergwerkseigentum oder Bewilligungen sowie aufgrund der Befugnisse des Oberflächeneigentümers gegenüber der Tiefennutzung seines Grundstücks ergeben. Sofern keine Einigung mit den Eigentümern der durch ein unterirdisches Pumpspeicherwerk betroffenen Grundstücke bzw. mit Bergwerkseigentümern

erzielt werden kann, wären in letzter Konsequenz enteignungsrechtliche Möglichkeiten zu prüfen.

Aus energiewirtschaftsrechtlicher Sicht wird in einem dritten Abschnitt insbesondere die Frage nach Netzanschluss sowie Netzzugang erörtert. Möglich ist bei einer Nennleistung ab 100 MW nach hier vertretener Ansicht ein Rückgriff auf die privilegierenden Regelungen der KraftNAV. Die Regelungen des EEG sind in aller Regel nicht anwendbar.

In einem vierten Abschnitt wird auf zivilrechtliche Haftungstatbestände eingegangen, die insbesondere an die Auswirkungen von Errichtung und Betrieb auf die Erdoberfläche sowie auf die Wasserbeschaffenheit anknüpfen können. Zudem kann sich eine öffentlich-rechtliche Verantwortlichkeit nach dem Umweltschadensgesetz (USchadG) ergeben.

Schließlich wird überblicksartig aufgezeigt, welche Unterschiede sich genehmigungsrechtlich ergeben würden, wenn nur eines der Speicherbecken untertägig, das andere aber oberirdisch angelegt wird (Hybridlösung).

## **Abstract**

A pumped storage hydro power plant has not been realized underground in Germany until now, so that there is no experience concerning the legal requirements for such a project. The subsequent legal report contains a basic survey concerning questions of authorization, property, liability and energy law in the context of an underground pumped storage power plant. The focus has been set on the authorization and its requirements. In this context statutory provisions concerning immission control, mining law, provisions relating to water, building law, waste legislation, energy law and environmental impact assessment have been examined.

As one result of this report, a notice of approval within the framework of the existing legislation seems to be possible. Nevertheless it is unsatisfactory that statutory provisions concerning mining law are only partially applicable. In addition, the applicability of statutory provisions concerning water and the environmental impact assessment is partly unresolved, although these regulations are important in relation to an underground pumped storage power plant. The investigation of two mines (Bad Grund / Lower Saxony and Pöhla / Saxony) that have been shut down and may be suitable for an underground pumped storage power plant shows that each location needs an individual legal assessment.

In view of the size of an underground pumped storage power plant it would be preferable to have only one concentrated licensing procedure. In this case all legal aspects could be handled in only one permission procedure. Referring to the existing legislation concerning the reservoirs, such a procedure could be available according to paragraph 20 UVPG. Concerning the necessary lowering of the ground-water level, a procedure according to paragraphs 67 and 68 WHG might be applicable. Concentrated licensing procedures are also available as to the grid connection and to the permanent deposition of spoil from the construction of the underground reservoirs.

In the second part of the study legal questions concerning property law are discussed. Existing mining rights as well as the rights of the landowners may hinder the construction or operation of an underground pumped storage facility. If contractual agreements cannot be achieved, expropriation proceedings could serve as a last resort.

Legal questions concerning the connection to the network and network access are treated in the third chapter. From the authors' point of view the privileging provisions of the reg-



ulation on network access for power plants (KraftNAV) are applicable, if the pumped storage power plant has a rated output of at least 100 megawatt (MW). However, the regulations of the Renewable Energies Act (EEG) are usually not applicable.

The fourth part treats questions of civil liability in case of negative consequences of the construction and the operation of an underground pumped storage power plant. This applies in particular to the conditions on the surface and to the quality of the water. A brief description is also given of the accountability under public law pursuant to the Environmental Damages Act (USchadG).

Finally the report gives a short review of the authorization requirements in the case of a pumped storage power plant constructed only partially underground (one subsurface reservoir, one reservoir above ground).



## Über die Autoren

**Prof. Dr. jur. Hartmut Weyer** ist seit Anfang 2008 Direktor des Instituts für deutsches und internationales Berg- und Energierecht der TU Clausthal und dort insbesondere mit dem gesamten Themenspektrum des Energierechts wie auch bergrechtlichen Fragen befasst. Er koordiniert zudem den Forschungsbereich Energierecht am Energie-Forschungszentrum Niedersachsen. Vor seinem Wechsel an die TU Clausthal war er bei der Bundesnetzagentur und der Generaldirektion Wettbewerb der Europäischen Kommission tätig. Prof. Dr. Weyer promovierte und habilitierte sich an der Universität zu Köln bei Prof. Dr. jur. Jürgen F. Baur, Direktor des Instituts für das Recht der Europäischen Gemeinschaften der Universität zu Köln und des Instituts für Energierecht an der Universität zu Köln. Prof. Weyer beschäftigt sich intensiv mit Fragen des Energiewirtschaftsrechts und des Energieumweltrechts.

Nach Abschluss des Studiums der Rechtswissenschaften an der Georg-August-Universität Göttingen durchlief **Ass. jur. Ulrich Lindemann** den Referendardienst am Landgericht Kassel. Teile dieser Ausbildung konnte er an der Deutschen Hochschule für Verwaltungswissenschaften zu Speyer sowie im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Arbeitsgruppe IG I 1) absolvieren. Seit Ende 2008 ist Ass. jur. Lindemann wissenschaftlicher Mitarbeiter am Energie-Forschungszentrum Niedersachsen.

# Verzeichnisse

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>456</b>
<b>1. Einführung in die rechtlichen Aspekte</b>	<b>465</b>
<b>2. Genehmigungsrecht</b>	<b>466</b>
<b>2.1 Genehmigungstatbestände</b>	<b>466</b>
2.1.1 Immissionsschutzrecht	467
2.1.2 Bergrecht und ergänzendes Ordnungsrecht	478
2.1.3 Wasserrecht	490
2.1.4 Baurecht	506
2.1.5 Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht	511
2.1.6 Energiewirtschaftsrecht	512
2.1.7 Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung	513
2.1.8 Naturschutzrechtliche Aspekte	518
<b>2.2 Genehmigungsverfahren</b>	<b>518</b>
2.2.1 Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren	518
2.2.2 Einzelverfahren	521
<b>2.3 Vorgelagertes Raumordnungsverfahren</b>	<b>522</b>
<b>2.4 Modellbergwerk Grund</b>	<b>524</b>
2.4.1 Immissionsschutzrecht	524
2.4.2 Bergrecht	525
2.4.3 Wasserrecht	528
2.4.4 Baurecht	536
2.4.5 Denkmalschutzrecht	539

2.4.6 Energiewirtschaftsrecht	546
2.4.7 Weitere genehmigungsrechtlich relevante Rechtsgebiete	548
2.4.8 Raumordnungsrecht	556
2.4.9 Zusammenfassung zum Modellbergwerk Grund	557
<b>2.5 Modellbergwerk Pöhla</b>	<b>560</b>
2.5.1 Immissionsschutzrecht	560
2.5.2 Bergrecht	562
2.5.3 Wasserrecht	566
2.5.4 Baurecht	573
2.5.5 Energiewirtschaftsrecht	575
2.5.6 Weitere genehmigungsrechtlich relevante Rechtsgebiete	576
2.5.7 Raumordnungsrecht	582
2.5.8 Zusammenfassung zum Modellbergwerk Pöhla	582
<b>3. Eigentumsrechtliche Aspekte</b>	<b>586</b>
<b>3.1 Einleitung</b>	<b>586</b>
<b>3.2 Abwehransprüche des Bergwerkseigentümers bzw. Inhabers einer bergrechtlichen Bewilligung</b>	<b>586</b>
<b>3.3 Abwehransprüche des Grundstückseigentümers</b>	<b>588</b>
3.3.1 Oberflächennutzung	588
3.3.2 Untertägige Nutzung fremder Grundstücke	589
<b>3.4 Enteignung fremder Grundstücke</b>	<b>591</b>
3.4.1 Grundlagen	591
3.4.2 Enteignungsrechtliche Vorwirkung bei Planfeststellung und Plangenehmigung	592
<b>3.5 Modellbergwerk Grund</b>	<b>594</b>
<b>3.6 Modellbergwerk Pöhla</b>	<b>594</b>

<b>4. Energiewirtschaftsrecht</b>	<b>596</b>
<b>4.1 Netzanschluss</b>	<b>596</b>
4.1.1 Anspruch auf Netzanschluss	596
4.1.2 Kostentragung	600
<b>4.2 Netzzugang</b>	<b>601</b>
4.2.1 Anspruch auf Netzzugang	601
4.2.2 Kostengesichtspunkte	603
<b>4.3 Netzentgelte</b>	<b>603</b>
4.3.1 Befristete Netzentgeltbefreiung	603
4.3.2 Weitere Förderinstrumente	603
<b>5. Haftungsrecht</b>	<b>605</b>
<b>5.1 Zivilrechtliche Haftungsansprüche</b>	<b>605</b>
5.1.1 Bergschadenshaftung nach §§ 114 ff. BBergG	605
5.1.2 Haftung für Gewässeränderungen nach § 89 WHG	608
5.1.3 Deliktische Haftung nach § 823 BGB	612
5.1.4 Haftung nach dem UmweltHG	614
5.1.5 Haftung nach dem HaftPflG	614
5.1.6 Entschädigung nach § 906 Abs. 2 S. 2 BGB	615
<b>5.2 Öffentlich-rechtliche Verantwortlichkeit nach USchadG</b>	<b>618</b>
5.2.1 Grundlagen	618
5.2.2 Anwendbarkeit und Voraussetzungen	618
5.2.3 Rechtsfolgen	619
5.2.4 Zwischenergebnis	620
<b>5.3 Zusammenfassung</b>	<b>620</b>
<b>6. Überblick zur genehmigungsrechtlichen Situation bei Hybridlösungen</b>	<b>621</b>
<b>6.1 Immissionsschutzrecht</b>	<b>621</b>

<b>6.2 Bergrecht</b>	<b>622</b>
<b>6.3 Wasserrecht</b>	<b>622</b>
6.3.1 Anwendbarkeit des WHG	622
6.3.2 Benutzungstatbestände nach § 9 WHG	623
6.3.3 Gewässerausbau gemäß §§ 67, 68 WHG	624
<b>6.4 Baurecht</b>	<b>625</b>
<b>6.5 Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht</b>	<b>625</b>
<b>6.6 Energiewirtschaftsrecht</b>	<b>626</b>
<b>6.7 Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung</b>	<b>626</b>
<b>6.8 Naturschutzrecht</b>	<b>626</b>
<b>6.9 Raumordnungsrecht</b>	<b>627</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>628</b>

# Abkürzungsverzeichnis

4. BImSchV	Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
26. BImSchV	Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
AbfallR	Zeitschrift für das Recht der Abfallwirtschaft
ABl.	Amtsblatt
ABG	Allgemeines Eisenbahngesetz
a.F.	alte Fassung
AVV	Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung)
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung)
BauOBl	Bauordnung für Berlin
BauO LSA	Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt
BauO NRW	Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen
BayBO	Bayerische Bauordnung
BayEntG	Bayerisches Gesetz über die entschädigungspflichtige Enteignung
BayVGH	Bayerischer Verwaltungsgerichtshof
BBergG	Bundesberggesetz
BbgBO	Brandenburgische Bauordnung
BBodSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch

BGBL.	Bundesgesetzblatt
BGB-RGRK	Das Bürgerliche Gesetzbuch mit besonderer Berücksichtigung der Rechtsprechung des Reichsgerichts und des Bundesgerichtshofes: Kommentar
BGH	Bundesgerichtshof
BGHZ	Entscheidungen des Bundesgerichtshofs in Zivilsachen
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BNetzA	Bundesnetzagentur
BR-Drs.	Bundesrats-Drucksache
BT-Drs.	Bundestags-Drucksache
BVerfG	Bundesverfassungsgericht
BVerfGE	Amtliche Sammlung der Entscheidungen des Bundesverfassungsgerichts
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
BVerwGE	Amtliche Sammlung der Entscheidungen des Bundesverwaltungsgerichts
BWVP	Baden-Württembergische Verwaltungspraxis
DepV	Verordnung über Deponien und Langzeitlager
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DVBl	Deutsches Verwaltungsblatt
EEG	Gesetz über den Vorrang Erneuerbarer Energien
EEG NW	Gesetz über Enteignung und Entschädigung für das Land Nordrhein-Westfalen
ET	Energiewirtschaftliche Tagesfragen
EuGH	Europäischer Gerichtshof
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft



EnLAG	Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen
EnWG	Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energie-wirtschaftsgesetz)
FFH	Flora-Fauna-Habitat
FStrG	Bundesfernstraßengesetz
GefStoffV	Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen
GenTG	Gesetz zur Regelung der Gentechnik (Gentechnikgesetz)
GG	Grundgesetz
GrwV	Grundwasserverordnung
HaftPflG	Haftpflchtgesetz
HBauO	Hamburgische Bauordnung
HBO	Hessische Bauordnung
HessVGH	Hessischer Verwaltungsgerichtshof
HK-BGB	Bürgerliches Gesetzbuch, Handkommentar
KraftNAV	Verordnung zur Regelung des Netzanschlusses von Anlagen zur Erzeugung von elektrischer Energie (Kraftwerks-Netzanschlussverordnung)
KrW-/AbfG	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz)
KSpG-E	Gesetzentwurf für ein Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid
LagerstG	Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz)
LBauO M-V	Landesbauordnung Mecklenburg-Vorpommern
LBO Saarl.	Landesbauordnung Saarland
LBO S-H	Landesbauordnung Schleswig-Holstein
LG	Landgericht

LuftVG	Luftverkehrsgesetz
MK	Münchener Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch
MU	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
NAGBNatSchG	Niedersächsisches Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutzgesetz
NBauO	Niedersächsische Bauordnung
Nds. GVBl.	Niedersächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt
Nds. MBl.	Niedersächsisches Ministerialblatt
NdsVBl	Niedersächsische Verwaltungsblätter
NDSchG	Niedersächsisches Denkmalschutzgesetz
NEG	Niedersächsisches Enteignungsgesetz
NJW	Neue juristische Wochenschrift
NNatG	Niedersächsisches Naturschutzgesetz
NotBZ	Zeitschrift für die notarielle Beratungs- und Beurkundungspraxis
NROG	Niedersächsisches Gesetz über Raumordnung und Landesplanung
NStrG	Niedersächsisches Straßengesetz
NuR	Natur und Recht
NUVPG	Niedersächsisches Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
NVwZ	Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
OLG	Oberlandesgericht
OVG	Oberverwaltungsgericht
ProduktHG	Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (Produkthaftungsgesetz)

RdE	Recht der Energiewirtschaft
RdErl	Runderlass
RdWEWi	Das Recht der Wasser- und Entsorgungswirtschaft
ROG	Raumordnungsgesetz
RoV	Raumordnungsverordnung
SächsBO	Sächsische Bauordnung
SächsEntEG	Sächsisches Enteignungs- und Entschädigungsgesetz
SächsHohlrVO	Polizeiverordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen sowie Halden und Restlöchern (Sächsische Hohlraumverordnung)
SächsNatSchG	Sächsisches Naturschutzgesetz
SächsUVPg	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung im Freistaat Sachsen
SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
SPA	Special Protection Area (Europäisches Vogelschutzgebiet)
StromStG	Stromsteuergesetz
StromStV	Verordnung zur Durchführung des Stromsteuergesetzes (Stromsteuer-Durchführungsverordnung)
St. Rspr.	Ständige Rechtsprechung
StrVG	Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz)
StrlSchV	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung)
S/Z/D/K	Sieder, Frank / Zeitler, Herbert / Dahme, Heinz / Knopp, Günther-Michael: Wasserhaushaltsgesetz, Kommentar

ThürABbUHG	Thüringer Gesetz über die Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung in Objekten des Altbergbaus und in unterirdischen Hohlräumen
ThürBO	Thüringer Bauordnung
UmweltHG	Umwelthaftungsgesetz
UPR	Umwelt- und Planungsrecht
USchadG	Umweltschadensgesetz
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
UVP-V Bergbau	Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben
VersatzV	Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Versatzverordnung)
VersR	Zeitschrift für Versicherungsrecht
VerwArch	Verwaltungsarchiv
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VG	Verwaltungsgericht
VGH	Verwaltungsgerichtshof
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
WaStrG	Bundeswasserstraßengesetz
WG-BW	Wassergesetz für Baden-Württemberg
WG LSA	Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WM	Wohnungswirtschaft & Mietrecht
ZfBR	Zeitschrift für deutsches und internationales Bau- und Vergaberecht
ZfB	Zeitschrift für Bergrecht

ZfW

Zeitschrift für Wasserrecht

ZUR

Zeitschrift für Umweltrecht

## **Soll-Ist-Vergleich**

Im Rahmen der rechtlichen Bewertung des Vorhabens waren gemäß Grundantrag drei Schwerpunkte zu bearbeiten. Ein erster Bereich sollte die genehmigungsrechtlichen Aspekte darstellen, wobei zunächst die einschlägigen Rechtsgebiete zu bestimmen sowie alsdann eine Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen vorzunehmen waren. In einem zweiten Abschnitt waren sicherheits- und haftungsrechtliche Fragestellungen zu beleuchten einschließlich der Erörterung eigentumsrechtlicher Fragen alter Bergwerksanlagen. Im Rahmen des dritten Schwerpunktes waren energierechtliche Darstellungen hinsichtlich Netzanschluss, Netznutzung sowie der etwaigen Förderfähigkeit unterirdischer Pumpspeicherwerke gemäß EEG zu erarbeiten. Der folgende Bericht geht auf alle drei oben dargestellten Schwerpunkte ein.

Im Verlauf der Bearbeitung wurde deutlich, dass sich die genehmigungsrechtliche Situation weitaus komplexer als anfangs angenommen darstellte. Viele Rechtsfragen, die sich im Zusammenhang mit der Realisierung unterirdischer Pumpspeicherwerke ergaben, stellten sich als bislang nicht erörtert bzw. geklärt heraus. Vielfach war die Recherche von in Einzelaspekten vergleichbaren Fallkonstellationen sowie die Kontaktaufnahme zu Personen und Institutionen aus der Praxis notwendig, wobei teilweise keine Anwendungsfälle oder Praxiserfahrungen zur Klärung bestehender Rechtsfragen gefunden werden konnten. Da die Bearbeitung dieses Bereichs insgesamt sowohl für die transdisziplinäre Projektbearbeitung als auch für spätere etwaige Genehmigungsverfahren als essentiell angesehen sowie in diesem Bereich viele ungeklärte Rechtsfragen identifiziert wurden, erfolgte insgesamt eine deutliche Schwerpunktverlagerung zum genehmigungsrechtlichen Bearbeitungsteil. Dabei wurden insbesondere im Bereich des Berg- und des Wasserrechts ausführliche Untersuchungen getätigt. Hierbei musste insbesondere auf die während der Projektlaufzeit erfolgte Neufassung des WHG eingegangen werden. Der Bericht beinhaltet darüber hinaus insbesondere Bearbeitungen zum Immissionsschutzrecht, Baurecht sowie zur Umweltverträglichkeitsprüfung. Soweit möglich, wurden landesrechtliche Besonderheiten mit in die Betrachtung einbezogen.

Im Rahmen des zweiten Schwerpunktbereichs (sicherheits- und haftungsrechtliche Aspekte) wurden zunächst eigentumsrechtliche Aspekte bearbeitet. Hierbei fanden u.a. Untersuchungen zur rechtlichen Einordnung des Bergwerkseigentums statt. Zudem wurde

das Verhältnis des Vorhabenträgers zu Grundeigentümern in den Mittelpunkt gestellt. Hierbei zeigt sich, dass nicht nur die oberirdische Nutzung fremder Grundstücke, sondern auch deren Tiefennutzung Abwehransprüche hervorrufen kann, die gleichfalls Gegenstand der Bearbeitung sind. Im Rahmen haftungsrechtlicher Überlegungen wurden in Betracht kommende Haftungsnormen dargestellt.

Die Bearbeitung zu energierechtlichen Fragestellungen beinhaltet insbesondere Überlegungen zum Netzanschluss sowie zum Netzzugang. Hierbei erfolgen jeweils auch Erörterungen, ob vorliegend Sondervorschriften des EEG sowie der KraftNAV einschlägig sind. Schließlich sind Ausführungen zur Kostentragungen hinsichtlich Netzanschluss bzw. Netzzugang sowie bestehende Fördermöglichkeiten bezogen auf Pumpspeicherwerke enthalten.

Bezüglich des Aufstockungsantrages waren aus rechtlicher Sicht vor allem vertiefende Betrachtungen zu zwei Standorten vorzunehmen. Die im ausführlichen allgemeinen Teil erarbeiteten Ergebnisse wurden auf die beiden Modellbergwerke Grund und Pöhla angewendet, wobei wiederum ein deutlicher Schwerpunkt auf der Darstellung genehmigungsrechtlicher Fragen gelegt wurde. Aufgrund der frühzeitigen und andauernden Auseinandersetzung der gesamten Arbeitsgruppe mit dem Modellbergwerk Grund konnten die Ausführungen zu diesem Standort tiefergehend erfolgen als zum Modellbergwerk Pöhla.

Zudem waren rechtliche Überlegungen zu der Konstellation vorgesehen, dass eines der beiden Speicherbecken obertägig angelegt, das andere untertägig aufgefahren wird (sog. Hybridlösung). Im Rahmen der fortschreitenden Abstimmungen innerhalb der gesamten Arbeitsgruppe zeigte sich, dass sich das Projekt auf die Untersuchung komplett untertägiger Konstellationen konzentriert. Daher wurde auch aus rechtlicher Sicht der Schwerpunkt auf der Darstellung komplett untertägiger Pumpspeicherwerke gelegt und die hier entstehenden Rechtsfragen, für die eine anerkannte Lösung bislang nicht bereitsteht, weiter vertieft. Die Erkenntnisse dieses allgemeinen Teils zu komplett untertägigen Pumpspeicherwerken wurden im Rahmen einer ausblickhaften Darstellung auf die Hybridlösung angewandt.



## **1. Einführung in die rechtlichen Aspekte**

Im Rahmen der rechtlichen Untersuchungen zum Projekt „Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke“ wurden genehmigungsrechtliche, eigentumsrechtliche, energiewirtschaftsrechtliche und haftungsrechtliche Fragestellungen untersucht.

Zunächst wird die genehmigungsrechtliche Situation eines untertägigen Pumpspeicherwerks dargestellt. Diese gestaltet sich komplex, zumal ein vergleichbares Vorhaben bislang noch nicht in Deutschland realisiert wurde und damit nicht genehmigt werden musste. Folglich liegen keine Erfahrungen zum Rechtsrahmen für die Errichtung und den Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks vor. Aufgrund der Komplexität und der ungeklärten Rechtsfragen wurde in diesem Bereich der Schwerpunkt der Bearbeitung gesetzt.

Ein weiterer Abschnitt behandelt eigentumsrechtliche Fragestellungen. Dargestellt werden einerseits die Auswirkungen der Eigentumsverhältnisse am Bergwerk. Andererseits können sowohl der untertägigen Nutzung als auch der Oberflächeninanspruchnahme von Grundstücken Abwehransprüche der Grundeigentümer entgegen stehen.

Im Abschnitt zum Energiewirtschaftsrecht werden insbesondere Aspekte des Netzan schlusses sowie des Netzzugangs erörtert. Die abschließenden Ausführungen zum haftungsrechtlichen Bereich behandeln insbesondere die Rechtsbeziehungen zwischen Kraftwerksbetreiber und Oberflächeneigentümer im Schadensfall.

Insbesondere in genehmigungsrechtlicher Hinsicht wurden zwei Modellbergwerke näher betrachtet und die allgemeinen Ausführungen auf zwei konkrete Einzelfälle angewendet. Hierzu finden sich Ausführungen jeweils am Ende der entsprechenden Abschnitte.

## **2. Genehmigungsrecht**

In diesem Abschnitt soll ein Überblick darüber gegeben werden, welche wesentlichen Genehmigungstatbestände im Zusammenhang mit einem untertägigen Pumpspeicherwerk zu beachten sind, welche hauptsächlichen Genehmigungsanforderungen zu erfüllen sind und in welchen Verfahren die Genehmigung erfolgen könnte. Dies wurde auf Grundlage des derzeitigen Rechtsrahmens untersucht. Dabei mussten diverse während der Projektlaufzeit erfolgte Gesetzesänderungen berücksichtigt werden, wobei insbesondere die Reform des Wasserrechts zu nennen ist.

Da die hier auftretenden Rechtsfragen aufgrund mangelnder Präzedenzfälle teilweise ungeklärt sind, war vielfach die Recherche von in Einzelaspekten vergleichbaren Fällen sowie die Kontaktaufnahme zu Personen und Institutionen aus der Praxis (z.B. Behörden, Unternehmen mit Erfahrungen im Bereich Wasserkraft) notwendig. Teilweise fanden sich dennoch keine Anwendungsfälle oder Praxiserfahrungen zur Klärung der im Raum stehenden (Rechts-)Probleme, sodass eine abschließende Klärung nicht stets möglich war.

### **2.1 Genehmigungstatbestände**

Das deutsche Recht unterwirft, teilweise in Umsetzung europarechtlicher Vorgaben, bestimmte Vorhaben einer vorherigen Genehmigungspflicht. Für die Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerks liegt dies nach Art und Größe eines derartigen Projektes – auch im Vergleich zu anderen genehmigungspflichtigen Projekten wie etwa übertägigen Pumpspeicherwerken – nahe. Zudem können wesentliche Teile eines derartigen Projektes der Verpflichtung zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung unterliegen. Eine daher gegebenenfalls durchzuführende Umweltverträglichkeitsprüfung bedarf eines Genehmigungsverfahrens als Trägerverfahren. In der Folge wird die Genehmigungsbedürftigkeit nach Immissionsschutzrecht, Bergrecht, Wasserrecht, Baurecht sowie dem Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung erörtert. Nicht Gegenstand der Untersuchung sind rechtliche Anforderungen an den Betrieb eines bereits genehmigten untertägigen Pumpspeicherwerks.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Beispielhaft können die Anforderungen nach §§ 22ff. BImSchG genannt werden.

## **2.1.1 Immissionsschutzrecht**

### **2.1.1.1 Unterirdisches Pumpspeicherwerk als solches**

Auf (untertägige wie übertägige) Pumpspeicherwerke nicht anwendbar ist das für „klassische Großanlagen“ einschlägige Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG). Der Anwendungsbereich dieses Gesetzes ist hinsichtlich der erfassten Anlagen enumerativ ausgestaltet. Die entsprechende Verordnung (4. BImSchV) enthält in ihrem abschließenden Anlagenkatalog keine Anlage, die für hier zu untersuchende Vorhaben einschlägig ist. Insbesondere werden Anlagen zur Energieerzeugung grundsätzlich nur im Falle von Feuerungsanlagen sowie Windkraftanlagen erfasst.<sup>2</sup>

Wasserkraftanlagen sind nach derzeitiger Rechtslage grundsätzlich an wasserrechtlichen bzw. baurechtlichen Normen zu messen. Die Anwendung immissionsschutzrechtlicher Normen wurde daher offensichtlich nicht als notwendig erachtet, da hierfür schon andere, fachlich nähere Rechtsgebiete zur Verfügung stehen. Für ein unterirdisches Pumpspeicherwerk sieht das Immissionsschutzrecht daher keine Genehmigungstatbestände vor, die einschlägig sein könnten.

### **2.1.1.2 Netzanbindung**

Eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung könnte in bestimmten Konstellationen hinsichtlich der Netzanbindung erforderlich sein. Nach § 4 BImSchG i.V.m. Nr. 1.8 des Anhangs zur 4. BImSchV ist eine Umspannstation mit einer Oberspannung von 220 kV oder mehr genehmigungspflichtig, es sei denn, dass es sich um eine eingebaute Elektromspannanlage handelt. Die Genehmigungspflicht für die Umspannstation bezieht sich nach der ausdrücklichen gesetzlichen Regelung auch auf die Schaltfelder.

Die immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbedürftigkeit hängt daher von der Spannungsebene ab, an die das Pumpspeicherwerk angeschlossen wird. Wenn – wie im Falle des betrachteten Modellbergwerks Grund – von einer Anschlussleistung bis zu 100 MW auszugehen ist, erfolgt in der Regel ein Anschluss an das 110-kV-Netz, so dass eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung nicht erforderlich ist. Wird – insbesondere nach Markteinführung der Technologie – ein Netzanschluss mit einer Leistung von deutlich über 100 MW benötigt, ist die Umspannstation entsprechend der energiesystemtechni-

schen Vorgaben auf eine Oberspannung von 220 kV oder mehr auszulegen. In diesem Fall wäre eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung notwendig, sofern die Umspannanlage nicht eingehaust wird.

Gemäß § 2 Abs. 1 S. 1 Nr. 2 der 4. BImSchV käme für eine etwaige immissionsschutzrechtliche Genehmigung grundsätzlich das vereinfachte Verfahren nach § 19 BImSchG zur Anwendung. Danach finden bestimmte Teilregelungen des § 10 BImSchG sowie die §§ 11 und 14 BImSchG keine Anwendung. Dies betrifft insbesondere die Öffentlichkeitsbeteiligung, den Einwendungsausschluss sowie den Ausschluss privatrechtlicher Abwehransprüche. Gemäß § 19 Abs. 3 BImSchG hat der Vorhabenträger allerdings die Möglichkeit, die Genehmigung im Regelverfahren zu beantragen, mit der Folge, dass die genannten Vorschriften Anwendung finden.

Der materielle Beurteilungsmaßstab für eine etwaige immissionsschutzrechtliche Genehmigung ergibt sich insbesondere aus §§ 5 und 6 BImSchG. Anforderungen hinsichtlich elektromagnetischer Felder regelt die 26. BImSchV, die nach § 1 Abs. 1, 2 Nr. 2a auch Elektroumspannanlagen mit einer Frequenz von 50 Hertz und einer Oberspannung von mindestens 1 kV erfasst. Die immissionsschutzrechtliche Genehmigung ist eine gebundene Entscheidung (§ 6 Abs. 1 BImSchG: „Die Genehmigung ist zu erteilen...“). Weitere Ausführungen zu den materiellen Anforderungen finden sich im Zusammenhang mit der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung einer etwaigen Halde (siehe unten 2.1.1.3.3).

#### 2.1.1.3 Aufhaldung von Gesteinsaushub

Eine mögliche Aufhaldung von Aushubmaterial, das insbesondere bei der Auffahrung der Speicherbecken anfällt, könnte eine immissionsschutzrechtliche Genehmigungspflicht nach § 4 BImSchG i.V.m. Nr. 8.12 bzw. Nr. 8.14 des Anhangs der 4. BImSchV begründen. Voraussetzung ist insbesondere, dass es sich um Anlagen handelt, auf die das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) Anwendung findet (unten 2.1.1.3.1). Zudem müssten auch die übrigen Tatbestandsvoraussetzungen vorliegen, insbesondere müsste es sich um eine „Anlage zum Lagern“ von Abfällen handeln, nicht aber um ein „Ablagern“ von Abfällen i.S.v. § 3 Abs. 10 und § 31 Abs. 2 KrW-/AbfG (siehe unten 2.1.1.3.2). Auf die

---

<sup>2</sup> Nr. 1 des Anhangs zur 4. BImSchV.

materiellen Genehmigungsanforderungen kann nur kurz eingegangen werden (siehe unten 2.1.1.3.3).

#### 2.1.1.3.1 Anwendbarkeit des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes

Die immissionsschutzrechtliche Genehmigungspflicht nach § 4 BImSchG i.V.m. Nr. 8.12 bzw. Nr. 8.14 des Anhangs der 4. BImSchV betrifft bestimmte Anlagen zur Lagerung von Abfällen, auf die die Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) Anwendung finden. Ob die Vorschriften des KrW-/AbfG einschlägig sind, ist insbesondere an § 2 sowie § 3 KrW-/AbfG zu messen. § 2 KrW-/AbfG legt den Geltungsbereich des Gesetzes fest, § 3 KrW-/AbfG trifft Aussagen darüber, was unter dem Begriff „Abfall“ zu fassen ist.

##### 2.1.1.3.1.1 Geltungsbereich gemäß § 2 KrW-/AbfG

Durch § 2 KrW-/AbfG wird der Geltungsbereich des Gesetzes umschrieben. Zum einen erfolgt in § 2 Abs. 1 KrW-/AbfG eine positive Umschreibung. Danach gelten die Vorschriften dieses Gesetzes für die Vermeidung, die Verwertung und die Beseitigung von Abfällen. Zur Auslegung dieser Begriffe ist auf die Vorschriften der §§ 3ff. KrW-/AbfG zurückzugreifen.<sup>3</sup> Hinzuweisen ist darauf, dass die Beseitigung von Abfällen gemäß § 10 Abs. 2 S. 1 KrW-/AbfG sowohl die Lagerung als auch die Ablagerung von Abfällen zur Beseitigung umfasst.

Grundsätzlich ausgenommen vom Anwendungsbereich sind demgegenüber gemäß § 2 Abs. 2 Nr. 4 KrW-/AbfG solche Abfälle, die beim Aufsuchen, Gewinnen, Aufbereiten und Weiterverarbeiten von Bodenschätzen in den der Bergaufsicht unterstehenden Betrieben anfallen. Wie noch näher darzustellen, beinhaltet die Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks grundsätzlich kein Aufsuchen, Gewinnen, Aufbereiten oder Weiterverarbeiten von Bodenschätzen gemäß § 2 Abs. 1 Nr. 1 BBergG (vgl. unten 2.1.2). Dementsprechend findet dieser Ausschlussatbestand grundsätzlich keine Anwendung, so dass der Anwendungsbereich des KrW-/AbfG eröffnet sein kann, wenn es sich bei dem Gesteinsaushub um „Abfall“ i.S. dieses Gesetzes handelt.

---

<sup>3</sup> Vgl. etwa Beckmann/Kersting in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, § 2 KrW-/AbfG Rn. 3.

#### 2.1.1.3.1.2 Abfallbegriff gemäß § 3 KrW-/AbfG

Für den Begriff „Abfall“ ist die Definition in § 3 Abs. 1 bis 4 KrW-/AbfG maßgebend. Gemäß § 3 Abs. 1 KrW-/AbfG sind Abfälle alle beweglichen Sachen, die unter die in Anhang I aufgeführten Gruppen fallen und deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Gesteinsaushub ist gemäß § 90 BGB unproblematisch als bewegliche Sache einzuordnen, die unter das KrW-/AbfG fallen kann. Offen bleiben kann insoweit, ob europarechtlich möglicherweise auch die Einbeziehung unbeweglicher Sachen geboten ist.<sup>4</sup> Der weitere Verweis auf die unter Anhang I KrW-/AbfG aufgeführten Gruppen ist wenig hilfreich, da die dort aufgelisteten Gruppen in einer Gesamtschau keine Begrenzungen bieten. Insbesondere folgt dies aus dem Auffangtatbestand der Abfallgruppe Q 16, unter die Stoffe oder Produkte aller Art fallen, die nicht einer der anderen Gruppen angehören.<sup>5</sup> Das Verzeichnis des Anhangs hat auch nach der Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofes nur Hinweischarakter.<sup>6</sup> Entscheidend ist daher, ob sich der Besitzer dieser Sachen entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Hierbei kommen gemäß § 3 Abs. 1 S. 2 KrW-/AbfG sowohl Abfälle zur Verwertung als auch Abfälle zur Beseitigung in Betracht.

##### 2.1.1.3.1.2.1 Konkretisierung durch § 3 Abs. 2 – 4 KrW-/AbfG

Bei Gesteinsaushub sind unterschiedliche Konstellationen denkbar. In einem ersten Fall könnte es sich bei dem Aushub um belastetes Material handeln, von dem ein bestimmtes Gefährdungspotential für das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere für die Umwelt, ausgeht und nur durch ordnungsgemäße und schadlose Verwertung oder gemeinwohlverträgliche Beseitigung ausgeschlossen werden kann und deren ursprüngliche Zweckbestimmung weggefallen ist. Dies hat zur Folge, dass sich der Besitzer dieses Aushubes in aller Regel gemäß § 3 Abs. 4 KrW-/AbfG entledigen muss, es sich folglich auch um Abfall handelt. Insoweit wird von einem „objektiven Abfallbegriff“ gesprochen. Maßgeblich

---

<sup>4</sup> So etwa Beckmann/Kersting in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, § 3 KrW-/AbfG Rn. 8, 15 ff.; a.A. etwa Kunig in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 3 Rn. 11.

<sup>5</sup> Kunig in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 3 Rn. 17. Nach dem Arbeitsentwurf für ein Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (auszugsweise abgedruckt in AbfallR 2010, S. 74ff.) wird daher konsequent auf die Übernahme des Anhangs 1 verzichtet.

<sup>6</sup> EuGH, Urt. v. 18.12.2007, Rs. C-194/05 – Kommission / Italien, Rn. 32.

sind Wahrscheinlichkeitsgrad und Umfang der Gefährdung.<sup>7</sup> Bei reinem Erdaushub etwa oder bei reinen Sänden und Kiesen ohne Schadstoffgehalt wird es regelmäßig an einem hinreichenden Gefährdungspotenzial und damit an der objektiven Abfalleigenschaft fehlen.<sup>8</sup>

Sind die Voraussetzungen des objektiven Abfallbegriffs nach § 3 Abs. 4 KrW-/AbfG nicht erfüllt, so ist als zweites denkbar, dass sich der Besitzer des Aushubs tatsächlich entledigt. Gemäß § 3 Abs. 2 KrW-/AbfG liegt eine Entledigung im Sinne des § 3 Abs. 1 KrW-/AbfG (u.a.) vor, wenn der Besitzer bewegliche Sachen einer Verwertung i.S.d. Anhangs IIB oder einer Beseitigung im Sinne des Anhangs IIA des KrW-/AbfG zuführt. Vorliegend kommt eine endgültige Aufhaldung des Gesteinsaushubs in der Nähe des Pumpspeicherwerkes in Betracht. Möglich ist aber auch, dass nur eine vorübergehende Aufhaldung erfolgt, um den Aushub später anderweitig abzulagern oder für andere Zwecke – etwa im Straßenbau – zu verwenden. Wie mit dem Gesteinsaushub verfahren wird, kann erst im jeweiligen Einzelfall festgestellt werden. Fraglich ist, ob der Gesteinsaushub in derartigen Fällen als Abfall i.S.d. KrW-/AbfG zu qualifizieren ist und ob es sich ggf. um Abfall zur Verwertung oder um Abfall zur Beseitigung handelt.

Die Qualifizierung als Abfall zur Verwertung kommt insbesondere in Betracht, wenn die (vorübergehende) Aufhaldung der Zuführung des Gesteinsaushubs zu einem Verwertungsverfahren nach Buchst. R 5 Anhang IIB dient, d.h. der Verwertung / Rückgewinnung von anderen anorganischen Stoffen als Metallen oder Metallverbindungen. Zudem ist die Aufzählung des Anhangs nach herrschender Auffassung nicht abschließend, so dass auch andere Verwertungsverfahren nicht ausgeschlossen sind.<sup>9</sup> Eine Verwertung kann gemäß § 4 Abs. 3 S. 1 KrW-/AbfG insbesondere in der Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle liegen. Hierbei ist nach einer wirtschaftlichen Betrachtungsweise, unter Berücksichtigung der im einzelnen Abfall bestehenden Verunreinigungen, zu entscheiden, ob der Hauptzweck der Maßnahme in der Nutzung des Abfalls und nicht in der Beseitigung des Schadstoffpotenzials liegt, § 4 Abs. 3 S. 2 KrW-/AbfG. Insoweit könnte z.B. eine stoffliche Verwertung des Gesteinsaushubs bei einer Verwendung im Straßenbau oder zur Verfüllung von Hohlräumen vorliegen. Die Vornahme einer stofflichen Verwertung muss

---

<sup>7</sup> Kunig in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 3 Rn. 48 f.

<sup>8</sup> Vgl. Kunig in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 3 Rn. 49; zum alten Abfallbegriff vgl. auch Schröder, BWVP 1996, 130 (132).

<sup>9</sup> Vgl. nur Kunig in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 3 Rn. 29.



anhand der komplexen Kriterien des § 4 Abs. 3 S. 2 KrW-/AbfG im Einzelfall geklärt werden. Relevant dürfte insbesondere sein, inwieweit der Zweck einer solchen Verwendung auf die Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Aushubs oder auf dessen dauerhaften Ausschluss von der Kreislaufwirtschaft gerichtet ist, und inwieweit ein Entgelt für den Aushub erzielt wird.

Erfolgt nach den vorstehend genannten Kriterien hingegen keine stoffliche Verwertung, so handelt es sich um Abfälle zur Beseitigung. Maßgeblich ist gemäß § 10 Abs. 1 KrW-/AbfG, dass die Abfälle dauerhaft von der Kreislaufwirtschaft ausgeschlossen und zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit beseitigt werden. Hier käme insbesondere eine Ablagerung in oder auf dem Boden gemäß D 1 Anhang IIA KrW-/AbfG in Betracht. Die Abfallbeseitigung umfasst dabei gemäß § 10 Abs. 2 S. 1 KrW-/AbfG nicht nur die (endgültige) Ablagerung, sondern u.a. auch die zwischenzeitliche Lagerung von Abfällen (zur Abgrenzung unten 2.1.1.3.2).

Sind die Voraussetzungen des objektiven Abfallbegriffs nach § 3 Abs. 4 KrW-/AbfG nicht erfüllt und ist auch eine Zuführung zur Verwertung oder zur Beseitigung nach § 3 Abs. 2 KrW-/AbfG nicht klar erkennbar, so kann drittens die Vermutung des § 3 Abs. 3 S. 1 Nr. 1, S. 2 KrW-/AbfG Bedeutung gewinnen. Nach dieser Vorschrift wird ein Entledigungswille bei solchen beweglichen Sachen angenommen, die bei der Energieumwandlung, Herstellung, Behandlung oder Nutzung von Stoffen oder Erzeugnissen oder bei Dienstleistungen anfallen, ohne dass der Zweck der jeweiligen Handlung hierauf gerichtet ist. Dies wird dahingehend verstanden, dass Abfall alle beweglichen Sachen sind, die bei einer Handlung anfallen, ohne dass der Zweck der Handlung auf den Anfall der Sache gerichtet ist.<sup>10</sup> Dabei ist gemäß § 3 Abs. 3 S. 2 KrW-/AbfG für die Beurteilung der Zweckbestimmung die Auffassung des Erzeugers oder Besitzers unter Berücksichtigung der Verkehrsanschauung zugrunde zu legen. Dementsprechend ist bei der Aufhaldung von Gesteinsaushub in aller Regel von einem Entledigungswillen und damit von der Abfalleigenschaft des Aushubs auszugehen.

#### 2.1.1.3.1.2.2 Abgrenzung von Abfall und (Neben-)Produkt

Die vorstehend dargestellten Überlegungen zur Einordnung von Gesteinsaushub als Abfall zur Verwertung oder als Abfall zur Beseitigung sind jeweils dahingehend zu überprüfen, ob es sich nicht im Einzelfall unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten statt um Abfall um ein (Neben-)Produkt handelt, das nicht dem Abfallbegriff unterfällt. Die Herstellung von Nebenprodukten kann auch als untergeordneter Produktionszweck beabsichtigt sein. Dies führt zu Abgrenzungsschwierigkeiten, wenn der Gesteinsaushub etwa zur Verwendung im Straßenbau oder zur Verfüllung von Hohlräumen dienen soll. Grundsätzlich entfällt die Abfalleigenschaft aber nur dann, wenn Nebenprodukte (mit-)zweckbestimmt im Produktionsprozess erzeugt worden sind. Fallen Stoffe unbeabsichtigt, unter Umständen jedoch unvermeidlich bei der Herstellung an, handelt es sich in der Regel um Abfall.<sup>11</sup> Dies entspricht der zu § 4 Abs. 3 S. 1 Nr. 1 KrW-/AbfG dargestellten Auffassung, dass Abfall alle beweglichen Sachen sind, die bei einer Handlung anfallen, ohne dass der Zweck der Handlung auf den Anfall der Sache gerichtet ist.<sup>12</sup>

Der Europäische Gerichtshof hat bei einer Abgrenzung zwischen Produkt und Abfall in Form von in einem Steinbruch angefallenen Bruchgestein entschieden, dass dieses als Abfall zu qualifizieren ist, auch wenn das Bruchgestein, welches auf dem Abbaugelände angehäuft wurde, als Schotter, zum Hafenbau oder für Wellenbrecher eingesetzt werden konnte. Der Gerichtshof stellte fest, dass es Nebenerzeugnisse eines Produktionsvorgangs gibt, die der Produzent nutzen oder vermarkten kann, deren er sich aber dennoch entledigt oder entledigen will. Der Abfallbegriff kann nicht eng ausgelegt werden. Die Abfalleigenschaft entfällt nur dann, wenn die Wiederverwendung eines Materials bzw. eines Rohstoffs nicht nur möglich, sondern ohne vorherige Bearbeitung in Fortsetzung des Gewinnungsverfahrens gewiss ist.<sup>13</sup>

Diesem Ergebnis entspricht auch die Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts, wonach Abfall anfällt, wenn erstmals die Begriffsmerkmale nach § 3 Abs. 1 KrW-/AbfG

---

<sup>10</sup> Beckmann/Kersting in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, § 3 KrW-/AbfG Rn. 44; Kunig in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 3 Rn. 39.

<sup>11</sup> Schink, VerwArch 88 (1997), 230 (243).

<sup>12</sup> Beckmann/Kersting in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, § 3 KrW-/AbfG Rn. 44; Kunig in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 3 Rn. 39.

<sup>13</sup> EuGH, Urt. v. 18.4.2002, Rs. C-9/00 - Palin Granit Oy u.a. / Petrolkoks, NVwZ 2002, 1362 (Rn. 23, 28 f., 36 ff.); EuGH, Urt. v. 18.12.2007, Rs. C-194/05 – Kommission / Italien, Rn. 38 ff.

erfüllt sind.<sup>14</sup> Die Abfalleigenschaft endet, wenn die betrachtete Sache ein Verwertungsverfahren bis zur Erreichung des Verwertungserfolgs (beispielsweise Verwendung im Straßenbau) durchlaufen hat. Zu dem Zeitpunkt, da das Verwertungsverfahren unter Beachtung aller Anforderungen an die Schadlosgkeit der Verwertung abgeschlossen ist und die Abfalleigenschaft daher entfallen würde, verliert das Aushubmaterial seine Eigenschaft als bewegliche Sache, beispielsweise durch den Einbau von Abbruchmaterial in die Tragschicht einer Straße.<sup>15</sup>

Die Erwägungen zeigen, dass die Abgrenzung von Abfall und Nebenprodukt häufig nicht einfach ist. Da eine Eignung des anfallenden Aushubmaterials für eine weitere Verwendung regelmäßig erst im Nachhinein festgestellt werden kann und eine Weiterverwendung ohne vorherige Bearbeitung voraussichtlich nicht möglich sein wird, dürfte der Gesteinsaushub im Regelfall als „Abfall“ i.S.d. § 3 Abs. 1 – 4 KrW-/AbfG einzuordnen sein.

#### 2.1.1.3.2 Anlagen zur Lagerung von Abfällen i.S.d. Nr. 8 Anhang 4. BImSchV

Eine immissionsschutzrechtliche Genehmigungspflicht kann sich, wenn der Anwendungsbereich des KrW-/AbfG eröffnet ist, aus § 4 BImSchG i.V.m. Nr. 8.12 bzw. Nr. 8.14 Anhang 4. BImSchV ergeben.

Gemäß Nr. 8.12 Anhang 4. BImSchV sind immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen solche zur zeitweiligen Lagerung von Abfällen, auf die die Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes Anwendung finden. Ausgenommen ist die zeitweilige Lagerung bis zum Einsammeln auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle. Diese Ausnahme dürfte für eine Aufhaltung nicht einschlägig sein. Da eine Lagerung von Abfällen für mehr als ein Jahr vor deren Beseitigung oder Verwertung den strenger Anforderungen nach Nr. 8.14 Anhang 4. BImSchV unterliegt (dazu unten), greift Nr. 8.12 außerdem nur bei einer vorgesehenen Lagerdauer bis zu einem Jahr ein. Insoweit ist die Beschränkung der immissionsschutzrechtlichen Genehmigungspflicht nach § 1 Abs. 1 S. 1 der 4. BImSchV zu beachten, wonach grundsätzlich nur Anlagen erfasst werden, bei denen zu erwarten ist, dass sie länger als ein Jahr nach Inbetriebnahme am selben Ort betrieben werden. Hiervon macht § 1 Abs. 1 S. 2 der 4. BImSchV jedoch für Anlagen nach Nr. 8 des Anhangs zur 4. BImSchV – also insbesondere für Anlagen nach Nr. 8.12 – eine

---

<sup>14</sup> BVerwG, NVwZ 2006, 589 (592).

Ausnahme. Auch die in § 1 Abs. 1 S. 2 der 4. BImSchV vorgesehene Rückausnahme für „Anlagen zur Behandlung am Entstehungsort“ ist nicht einschlägig, da das Lagern nach Nr. 8.12 der 4. BImSchV kein „Behandeln“ darstellt, vgl. auch § 4 Abs. 1 S. 1 BImSchG. Insofern wäre Nr. 8.12 der 4. BImSchV selbst im Falle einer nur kurzfristigen Aufhaldung von Gesteinsaushub auf dem Betriebsgelände des Pumpspeicherwerkes anwendbar.

Im Weiteren muss nach Nr. 8.12 des Anhangs 4. BImSchV zwischen gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen sowie nach der Aufnahme- und der Gesamtlagerkapazität weiter differenziert werden. Die Mindestmengen betragen für gefährliche Abfälle 1 Tonne pro Tag und 30 Tonnen insgesamt. Für nicht gefährliche Abfälle ist eine Gesamtlagerkapazität von 100 Tonnen erforderlich. Angesichts des Volumens der aufzufahrenden Hohlräume ist davon auszugehen, dass die Mindestmengen nach Nr. 8.12 regelmäßig erfüllt sein werden, sofern überhaupt eine Aufhaldung erfolgt. Im Ergebnis kann sich, je nach Volumina, eine Genehmigungspflicht nach Spalte 1 oder Spalte 2 des Anhangs zur 4. BImSchV ergeben, was für die Möglichkeit zur Durchführung eines vereinfachten Verfahrens nach § 19 BImSchG von Bedeutung ist.

Sofern eine nicht nur zeitweilige, sondern vor deren Beseitigung oder Verwertung jeweils über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr andauernde Lagerung von Abfällen vorliegt, kann Nr. 8.14 Anhang 4. BImSchV einschlägig sein. Eine Ausnahme für die zeitweilige Lagerung bis zum Einsammeln auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle ist hier nicht vorgesehen. Wiederum muss zwischen gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen sowie nach der Aufnahme- und der Gesamtkapazität unterschieden werden. Mindestmengen sind weder für gefährliche noch für nicht gefährliche Abfälle vorgesehen. Im Ergebnis kann sich auch eine Genehmigungspflicht nach Spalte 1 oder Spalte 2 des Anhangs zur 4. BImSchV mit entsprechenden Auswirkungen auf die Möglichkeit zur Durchführung eines vereinfachten Verfahrens nach § 19 BImSchG ergeben.

Sowohl Nr. 8.12 als auch Nr. 8.14 Anhang 4. BImSchV finden demnach nur auf die „Lagerung“ von Abfällen Anwendung. Abzugrenzen ist die (temporäre) „Lagerung“ von der (endgültigen) Ablagerung.<sup>16</sup> Letztere meint das Endlagern von Stoffen mit dem Ziel, sich ihrer dauerhaft zu entledigen, wie etwa im Falle der Deponierung oder des dauerhaften

---

<sup>15</sup> Kropp/Kälberer, AbfallR 2010, 124 (126).

<sup>16</sup> Feldhaus, 4. BImSchV, Anhang Nr. 8 Rn. 5.

„Liegenlassens“ von Bauschutt.<sup>17</sup> Nur im Falle einer zeitlich begrenzten „Lagerung“ ist die Genehmigungsbedürftigkeit nach immissionsschutzrechtlichen Vorschriften zu beurteilen. Für den Bereich der Abfallbeseitigung (nicht Abfallverwertung) stellt § 31 Abs. 1 KrW-/AbfG zusätzlich klar, dass Errichtung und dem Betrieb von ortsfesten Abfallbeseitigungsanlagen zur Lagerung von Abfällen nur einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung bedürfen, nicht aber einer zusätzlichen Genehmigung nach dem KrW-/AbfG.

Sofern demgegenüber eine endgültige Aufhaldung erfolgt, liegt keine „Lagerung“ i.S.d. Nr. 8.12 als auch Nr. 8.14 Anhang 4. BImSchV, sondern eine Ablagerung zur Abfallbeseitigung vor. In diesem Fall ist eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung nicht vorgesehen. Vielmehr findet für Deponien gemäß § 32 Abs. 2 bzw. 3 KrW-/AbfG ein Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren Anwendung (siehe unter 2.1.5).

#### 2.1.1.3.3 Materieller Beurteilungsmaßstab

Der materielle Beurteilungsmaßstab für eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung ergibt sich sowohl für Anlagen zur Abfallverwertung als auch für Anlagen zur Abfallbeseitigung insbesondere aus §§ 5 und 6 BImSchG. Die immissionsschutzrechtliche Genehmigung ist eine gebundene Entscheidung, vgl. § 6 Abs. 1 BImSchG: „Die Genehmigung ist zu erteilen...“. Voraussetzung ist zunächst die Erfüllung der in § 5 BImSchG geregelten Grundpflichten sowie der sich aus den Rechtsverordnungen nach § 7 BImSchG ergebenden Pflichten. Darüber hinaus dürfen andere öffentlich-rechtliche Pflichten sowie Belange des Arbeitsschutzes der Errichtung und dem Betrieb der Anlage nicht entgegenstehen.

Die Grundpflichten nach § 5 BImSchG begründen anlagenbezogene Genehmigungsvoraussetzungen. Vorliegend kann insbesondere die Schutzpflicht nach § 5 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BImSchG relevant werden, wonach zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sicherzustellen ist, dass schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden. Darüber hinaus ist aufgrund der Vorsorgepflicht gemäß § 5 Abs. 1 S. 1 Nr. 2 BImSchG Vorsorge gegen derartige Auswirkungen zu treffen, insbesondere durch dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen. Für die Aufhaldung von Gesteinsaushub weniger relevant erscheint demgegenüber

---

<sup>17</sup> Kunig in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 10 Rn. 15; Beckmann/Kersting in Land-

die Vermeidungs- und Entsorgepflicht nach § 5 Abs. 1 S. 1 Nr. 3 BImSchG, da sie die Abfallentstehung bei Errichtung und Betrieb der Anlage betrifft. Nur geringe Bedeutung dürfte auch der Pflicht zur sparsamen und effizienten Energieverwendung nach § 5 Abs. 1 S. 1 Nr. 4 BImSchG zukommen. In Hinblick auf die Zeit nach Betriebseinstellung ergeben sich Anforderungen aus § 5 Abs. 3 BImSchG.

Die Beachtung anderer öffentlich-rechtlicher Pflichten nach § 6 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG erfasst sonstige anlagenbezogene Vorschriften. Entsprechend der in § 13 BImSchG geregelten Konzentrationswirkung findet daher grundsätzlich eine umfassende Prüfung statt. Das Vorhaben muss daher etwa auch den baurechtlichen, wasserrechtlichen und naturschutzrechtlichen Vorschriften entsprechen. Erfasst werden auch die Anforderungen des KrW-/AbfG, soweit es sich um anlagenbezogene Regelungen handelt. Bedeutung gewinnt dies vor allem für Anlagen zur Abfallbeseitigung. Relevant werden können etwa verbindliche Ausweisungen in Abfallwirtschaftsplänen gemäß § 29 Abs. 4 KrW-/AbfG.<sup>18</sup> Für Langzeitlager nach Nr. 8.14 Anhang 4. BImSchV ist die Deponieverordnung zu beachten.<sup>19</sup> Anforderungen an die Verwertung von Abfällen als Versatzmaterial in den unter Bergaufsicht stehenden Grubenbauen enthält die Versatzverordnung.<sup>20</sup>

#### 2.1.1.3.4 Zwischenergebnis

Sofern der anfallende Erdaushub als „Abfall“ im Sinne des § 3 Abs. 1 KrW-/AbfG zu bewerten ist, was aus den dargestellten Gründen als wahrscheinlich angesehen werden kann, sind die Anwendungsfälle einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung nach Nr. 8.12 bzw. Nr. 8.14 Anhang 4. BImSchV zu prüfen. Eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung kann erforderlich sein, wenn nur eine zeitlich begrenzte „Lagerung“, nicht aber eine endgültige „Ablagerung“ des Aushubs erfolgt. Für die weitere Prüfung kommt es darauf an, ob eine nur zeitweilige (Nr. 8.12) oder eine mehr als ein Jahr andauernde (Nr. 8.14) Lagerung von Abfällen beabsichtigt ist. Des Weiteren ist zu unterscheiden, ob es sich um gefährliche oder nicht gefährliche Abfälle handelt und welche Aufnahme- und Ge-

---

mann/Rohmer, Umweltrecht, § 10 KrW-/AbfG Rn. 22.

<sup>18</sup> Paetow in Kunig/Paetow/Versteyl, KrW-/AbfG, § 31 Rn. 70.

<sup>19</sup> Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) v. 24.07.2002, BGBl. I S. 2807.

<sup>20</sup> Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Versatzverordnung – VersatzV) v. 24.07.2002, BGBl. I S. 2833.

samtlagerkapazität vorliegt. Je nach Fallgestaltung kann sich eine Genehmigungspflicht nach Spalte 1 oder Spalte 2 des Anhangs zur 4. BImSchV mit entsprechenden Auswirkungen auf die Möglichkeit zur Durchführung eines vereinfachten Verfahrens nach § 19 BImSchG ergeben.

### **2.1.2 Bergrecht und ergänzendes Ordnungsrecht**

Naheliegend wäre angesichts der untertägigen Anlage die Notwendigkeit einer bergrechtlichen Genehmigung (Betriebsplanverfahren nach §§ 51 ff. BBergG). Jedoch finden bergrechtliche Vorschriften trotz der Nachnutzung stillgelegter Bergwerke regelmäßig nur in sehr begrenztem Umfang Anwendung, da der sachliche Anwendungsbereich bei der Nutzung stillgelegter Bergwerke als untertägige Pumpspeicheranlagen im Wesentlichen nicht eröffnet ist. Besonderheiten gelten, falls das stillgelegte Bergwerk ausnahmsweise noch der Bergaufsicht unterliegen sollte und beim Auffahren von Hohlräumen Rohstoffe gewonnen werden sollten.

#### **2.1.2.1 Sachlicher Anwendungsbereich gemäß §§ 2 Abs. 1, 3 BBergG**

##### **2.1.2.1.1 Gewinnung von Bodenschätzen**

##### **2.1.2.1.1.1 Bodenschätze i.S.v. § 3 BBergG**

Der sachliche Anwendungsbereich des BBergG knüpft gemäß § 2 Abs. 1 i.V.m. § 3 BBergG im Regelfall an das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von bergfreien und grundeigenen Bodenschätzen sowie das anschließende Wiedernutzbarmachen der Oberfläche an. Die Anwendbarkeit des BBergG wäre daher dann zu bejahen, wenn beim Auffahren von Hohlräumen (insbesondere Speicherbecken, Maschinenkaverne) oder Abteufen von Schächten „Bodenschätze“ i.S. des § 3 Abs. 1 BBergG gewonnen werden. „Bodenschätze“ sind nach der Definition des § 3 Abs. 1 BBergG alle mineralischen Rohstoffe unabhängig vom Aggregatzustand, aber mit Ausnahme von Wasser, die in natürlichen Ablagerungen oder Ansammlungen in oder auf der Erde, auf dem Meeresgrund, im Meeresuntergrund oder im Meerwasser vorkommen. Dabei beschränkt sich der Begriff „Bodenschätze“ des BBergG, auch wenn dies im Gesetzestext nicht explizit zum Ausdruck kommt, auf wirt-



schaftlich verwertbare Stoffe.<sup>21</sup> Das Wort „Rohstoff“ wird insoweit als Sammelbegriff für die Grundstoffe pflanzlicher oder mineralischer Herkunft verstanden, die zur Weiterbearbeitung oder -verarbeitung bestimmt sind. „Mineralische Rohstoffe“ sind daher unbearbeitete Naturerzeugnisse mineralischer Herkunft, die im Produktionsprozess einer Umwandlung unterliegen, insbesondere natürliche Brennstoffe, Erze der Eisen- und Nichteisenmetalle sowie nichtmetallische mineralische Rohstoffe. Ihnen muss ein bestimmter Handels- oder Marktwert zukommen, wertlose in der Erdkruste vorkommende Stoffe werden nicht erfasst.<sup>22</sup> Diese Einschränkung entspricht dem Zweck nach § 1 Nr. 1 BBergG, die Rohstoffversorgung zu sichern, und der Zuordnung des Bergbaus zum Recht der Wirtschaft nach Art. 74 Nr. 11 GG.

Da Errichtung und Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes insbesondere Wasser betreffen, ist zudem festzuhalten, dass Wasser nicht unter den Begriff der Bodenschätze fällt. Wasser dürfte bereits nicht als „mineralischer Rohstoff“ i.S. des § 3 Abs. 1 BBergG anzusehen sein.<sup>23</sup> Jedenfalls aber nimmt der Wortlaut des § 3 Abs. 1 BBergG Wasser ausdrücklich vom Begriff der „Bodenschätze“ aus. Dadurch sollen Überschneidungen mit dem Wasserrecht vermieden werden.<sup>24</sup> Das Ableiten von Wasser oder sonstige Gewässernutzungen begründen daher bereits aus diesem Grunde nicht die Anwendbarkeit des BBergG.

Sind bei Beachtung dieser Einschränkungen Bodenschätze i.S.v. § 3 Abs. 1 BBergG betroffen, so unterfallen diese auch dem Anwendungsbereich des BBergG. Grundsätzlich ist der sachliche Anwendungsbereich zwar auf bergfreie und grundeigene Bodenschätze i.S.d. § 3 Abs. 3 und Abs. 4 BBergG beschränkt, während sog. Grundeigentümergebilde Bodenschätze einer landesrechtlichen Regelung unterliegen (sog. Abgrabungsrecht). Untertägig gewonnene Bodenschätze stellen gemäß § 3 Abs. 4 Nr. 2 BBergG jedoch stets, soweit es sich nicht bereits um bergfreie Bodenschätze handelt, zumindest grundeigene Bodenschätze dar. Der Anwendungsbereich des BBergG ist daher eröffnet.

---

<sup>21</sup> Vgl. Piens/Schulte/Graf Vitzthum, BBergG, § 3 Rn. 2.

<sup>22</sup> Boldt/Weller, BBergG, § 3 Rn. 4.

<sup>23</sup> Boldt/Weller, BBergG, § 3 Rn. 5; a.A. Piens/Schulte/Graf Vitzthum, BBergG, § 3 Rn. 3.

<sup>24</sup> BT-Drs. 8/1315 Anlage 1 S. 77.

#### 2.1.2.1.1.2 Gewinnung

Soweit Bodenschätze betroffen sind, kommt beim Auffahren von Hohlräumen (insbesondere Speicherbecken, Maschinenkaverne) oder Abteufen von Schächten auch eine „Gewinnung“ dieser Bodenschätze in Betracht. Der Begriff „Gewinnung“ erfasst gemäß § 4 Abs. 2 Hs. 1 BBergG das Lösen oder Freisetzen von Bodenschätzen einschließlich der damit zusammenhängenden vorbereitenden, begleitenden und nachfolgenden Tätigkeiten. Der Gesetzgeber hat damit einen objektiven Ansatz gewählt, der keine auf eine bestimmte Art der Verwertung gerichtete Zweckorientierung verlangt. Grundsätzlich werden daher auch solche Tätigkeiten erfasst, die das Lösen oder Freisetzen von Bodenschätzen zwar nicht bezwecken, aber als unabdingbare Voraussetzung für die Erreichung eines anderen Zweckes an der gleichen Stelle haben.<sup>25</sup> Daher wird in der Literatur auch ausdrücklich anerkannt, dass eine Gewinnung im Sinne des Gesetzes vorliegen kann, wenn die gewonnenen Bodenschätze nicht wirtschaftlich nutzbar gemacht werden.<sup>26</sup> Dementsprechend enthält § 4 Abs. 2 Hs. 2 BBergG ausdrückliche Ausnahmen von der Gewinnung für das Lösen oder Freisetzen von Bodenschätzen

- in einem Grundstück aus Anlass oder im Zusammenhang mit dessen baulicher oder städtebaulicher Nutzung sowie
- in oder an einem Gewässer als Voraussetzung für dessen Ausbau oder Unterhaltung.

Daher kann eine Gewinnung auch bei Verfolgung anderer Zwecke wie z.B. dem Auffahren von Speicherbecken vorliegen, falls Bodenschätze im Sinne des BBergG betroffen sind.

#### 2.1.2.1.1.3 Konsequenzen

Im Ergebnis ist in den vorliegend interessierenden Fallgestaltungen regelmäßig davon auszugehen, dass keine Bodenschätze i.S.d. § 3 Abs. 1 BBergG gewonnen werden. Zwar werden als Standorte untertägiger Pumpspeicherwerke stillgelegte Bergwerke gesucht. Dies geschieht jedoch vor allem im Hinblick auf die ökonomisch sinnvolle Nachnutzung der vorhandenen Schächte, ggf. auch untertägiger Hohlräume. Eine Annäherung an etwa noch vorhandene Bodenschätze ist nicht beabsichtigt. Vielmehr wird umgekehrt zur

---

<sup>25</sup> Vgl. BT-Drs. 8/1315 Anlage 1 S. 80; Boldt/Weller, BBergG, § 4 Rn. 7.

<sup>26</sup> Boldt/Weller, BBergG, § 4 Rn. 7.

Vermeidung genehmigungsrechtlicher Schwierigkeiten versucht werden, abbauwürdige Rohstoffe nicht zu tangieren. Andernfalls wäre zu befürchten, dass die Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerkes an dem Zweck der Rohstoffsicherung scheitern könnte. Zudem weisen vorhandene Gänge (mit Mineralien gefüllte Gesteinsspalten) regelmäßig schlechtere Standfestigkeiten auf.

Die grundsätzliche Unanwendbarkeit des BBergG auf derartige Sachverhalte ergibt sich im Übrigen aus systematischen Überlegungen. Bei Schaffung des BBergG war zunächst eine spezielle Betriebsplanpflicht für die Herstellung, wesentliche Erweiterung oder wesentliche Veränderung von unterirdischen Hohlräumen eingeführt worden, § 130 BBergG a.F. (dazu unten 2.1.2.2.1). Diese Regelung wäre nicht erforderlich gewesen, wenn das BBergG bereits deshalb regelmäßig anwendbar wäre, weil anlässlich der Anlage von Hohlraum-bauten (z.B. Tunnel) Bodenschätze gelöst oder freigesetzt werden. Dementsprechend ging der Gesetzgeber bei Abschaffung der Norm im Jahr 1987 davon aus, dass ein bergrechtliches Betriebsplanverfahren damit (zumindest in aller Regel) nicht mehr erforderlich sei (näher unten 2.1.2.2.1).

Sollten demgegenüber im Einzelfall ausnahmsweise Bodenschätze i.S.d. § 3 BBergG betroffen sein und daher eine Gewinnung i.S.v. § 4 Abs. 2 BBergG vorliegen, so wären bergrechtliche Genehmigungen auf zwei Stufen zu prüfen. Zum einen bedürfte es im Falle bergfreier Bodenschätze nach § 3 Abs. 3 BBergG einer bergrechtlichen Berechtigung, also einer Bewilligung oder der Verleihung von Bergwerkseigentum (§§ 8, 9 BBergG). Zum anderen wären gemäß §§ 51ff. BBergG regelmäßig Betriebsplanverfahren durchzuführen, einschließlich der Erstellung von Abschlussbetriebsplänen nach §§ 53, 55 Abs. 2 BBergG. Diese wären allerdings begrenzt durch die Zielsetzung des BBergG, insbesondere Wiedernutzbarmachung der Oberfläche, und würden eine Folgenutzung als untertägiges Pumpspeicherwerk selbst nicht erfassen. Vgl. näher die Ausführungen zur Rechtslage bei fortbestehender Bergaufsicht, unten 2.1.2.3. Ob im Einzelfall eine Gewinnung von Bodenschätzen erfolgt, muss anhand des konkreten Sachverhalts beurteilt werden.

#### 2.1.2.1.2 Wiedernutzbarmachen der Oberfläche

Wenn, wie regelmäßig anzunehmen, Bodenschätze nicht gewonnen werden, so findet das BBergG auch nicht im Hinblick auf die Wiedernutzbarmachung der Oberfläche Anwendung. Die Regelungen zur „Wiedernutzbarmachung der Oberfläche“ i.S.d. §§ 2 Abs. 1

Nr. 2 i.V.m. § 4 Abs. 4 BBergG knüpfen an die Aufsuchung, Gewinnung oder Aufbereitung von Bodenschätzen an. Hieran fehlt es regelmäßig gerade. Bergbaufremde Nachnutzungen stillgelegter Bergwerke fallen daher nicht unter den regelmäßigen Anwendungsbereich gemäß §§ 2 Abs. 1, 3 BBergG.

#### 2.1.2.2 Sachlicher Anwendungsbereich in Sonderfällen, § 2 Abs. 2 BBergG

##### 2.1.2.2.1 Herstellung von Hohlräumen, § 2 Abs. 2 BBergG i.V.m. § 130 BBergG a.F.

Hinzuweisen ist auf den Umstand, dass mit § 130 BBergG a.F. i.V.m. § 2 Abs. 2 BBergG ursprünglich eine Norm existierte, durch welche gerade die Herstellung, wesentliche Erweiterung oder wesentliche Veränderung von unterirdischen Hohlräumen auch ohne bergbaulichen Bezug explizit geregelt und dem bergrechtlichen Betriebsplanverfahren unterworfen worden war. Unterirdische Hohlräume waren dabei definiert als Hohlraumbauten mit einem Querschnitt von mehr als acht Quadratmetern, die unter Tage in nicht offener Bauweise errichtet werden und nicht der Aufsuchung oder Gewinnung von Bodenschätzen zu dienen bestimmt sind. Die Vorschrift ging auf eine Initiative des Bundesrates zurück<sup>27</sup> und wurde vom Wirtschaftsausschuss des Bundestages mit den überwiegend bergbautypischen Tätigkeiten begründet.<sup>28</sup>

§ 130 Abs. 1 BBergG a.F. wurde jedoch bereits mit Wirkung vom 1.5.1987 wieder aufgehoben.<sup>29</sup> Zur Begründung wurde auf den mit dem Betriebsplanverfahren verbundenen, besonders weitgehenden behördlichen Eingriff verwiesen sowie auf die Sondersituation, dass derartige Hohlraumbauten in der überwiegenden Zahl der Fälle von Bauunternehmen als Auftragnehmern der öffentlichen Hand ausgeführt und daher die Belange des Gefahrenschutzes besonders beachtet würden. Gleichzeitig führe das Betriebsplanverfahren potenziell zu Überschneidungen oder Widersprüchen zwischen Auftragsinhalt und behördlichen Genehmigungsmodalitäten, ohne dass dem Verbesserungen im Bereich der Betriebssicherheit, des Arbeitsschutzes oder andere wichtige Veränderungen gegenüber

---

<sup>27</sup> Bundesrat, BT-Drs. 8/1315, S. 184 (zu § 132 Abs. 1 des Entwurfs).

<sup>28</sup> Wirtschaftsausschuss des Bundestages, BT-Drs. 8/3965, S. 144 (zu § 132a des Entwurfs).

<sup>29</sup> Art. 8 Nr. 1 des Ersten Rechtsbereinigungsgesetzes v. 24.4.1986, BGBl. I S. 560.

stunden.<sup>30</sup> Auch eine vom Land Hessen vorgeschlagene (bloße) bergrechtliche Anzeigepflicht nach § 50 Abs. 1 BBergG wurde nicht eingeführt.<sup>31</sup>

Eine bundesrechtliche Nachfolgeregelung zu § 130 BBergG a.F. besteht nicht. Auf Bundesebene existiert damit keine bergrechtliche Regelung, die eine Genehmigungspflicht in Bezug auf unterirdische Hohlräume vorsehen würde. Dies erscheint im Hinblick auf die mit Errichtung und Betrieb untertägiger Pumpspeicherwerke einhergehenden Auswirkungen jedenfalls dann unbefriedigend, wenn eine Überprüfung in bergbaulicher Hinsicht auch nicht durch andere Vorschriften sichergestellt ist. Wie im weiteren auszuführen, fehlt es weitgehend an derartigen Vorschriften. Allerdings sind in einigen Bundesländern landesrechtliche Regelungen im Bereich der Gefahrenabwehr zu berücksichtigen (dazu unten 2.1.2.2.2).

Eine Änderung der bundesrechtlichen Gesetzeslage erscheint nicht von vornherein ausgeschlossen. Denkbar wäre die Wiedereinführung des § 130 BBergG a.F. bzw. einer ähnlichen Regelung, die unterirdische Hohlraumbauten der Bergaufsicht unterstellt. In Betracht käme aber auch eine Lösung über die Ausweitung von Sondertatbeständen wie insbesondere § 126 BBergG (Untergrundspeicherung, dazu unten 2.1.2.2.3) auf untertägige Pumpspeicherwerke. Die Bezirksregierung Arnsberg hat im Februar 2011 Vorschläge zur Änderung des Bergrechts vorgelegt, die u.a. die Wiedereinführung des § 130 BBergG vorsehen. Anlass hierfür waren insbesondere die Ereignisse im Zusammenhang mit dem Einsturz des Kölner Stadtarchivs, die nach Auffassung der Bezirksregierung gezeigt haben, dass in Nordrhein-Westfalen keine effektive behördliche Überwachung der Errichtung von Hohlräumen besteht. Verwiesen wurde auch auf die baden-württembergische Regelung, wonach die dortige Bergbehörde die landesweit zuständige Arbeitsschutzbehörde für Baustellen ist, die der Herstellung, wesentlichen Erweiterung oder Veränderung unterirdischer Hohlräume dienen (dazu unten 2.1.2.2.2).<sup>32</sup>

Unter Berücksichtigung der Erwägungen, die der Abschaffung des § 130 BBergG a.F. zu Grunde lagen – Belastungen durch das Betriebsplanverfahren, potenzielle Widersprüche zwischen Auftragsinhalt und Genehmigungsmodalitäten – erscheint die generelle Wie-

---

<sup>30</sup> Begründung der Bundesregierung, BR-Drs. 30/85, S. 18 f.

<sup>31</sup> Antrag des Landes Hessen, BR-Drs. 30/2/85.

<sup>32</sup> Bezirksregierung Arnsberg, Vorschläge zur Änderung des Bergrechts 2011, Stand 18.02.2011, unter III.10., <http://www.bezreg->

dereinführung eines Betriebsplanverfahrens für alle Hohlraumbauten als sehr weitgehend. Gleichzeitig wäre eine solche Regelung auch insoweit unzureichend, als § 130 BBergG a.F. den „Betrieb“ unterirdischer Hohlraumbauten bewusst nicht erfasste, sondern sich auf die Herstellung, wesentliche Erweiterung oder wesentliche Veränderung von unterirdischen Hohlräumen beschränkte. Damit wäre auch der Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes nicht erfasst.

Im Hinblick auf Sachverhalte wie die Errichtung und den Betrieb untertägiger Pumpspeicherwerke wäre aber eine Regelung wünschenswert, die zumindest eine Anzeigepflicht und die Möglichkeit zur Anordnung einer Betriebsplanpflicht vorsieht. Eine vergleichbare Regelung enthält derzeit § 127 BBergG für Bohrungen. Darüber hinaus wäre denkbar, für besonders bedeutsame Vorhaben grundsätzlich eine Betriebsplanpflicht vorzusehen. Für untertägige Pumpspeicherwerke könnte dieses Ergebnis auch durch eine Ausdehnung des Anwendungsbereiches des § 126 BBergG erreicht werden (unten 2.1.2.2.3).

#### 2.1.2.2.2 Ergänzung: Gefahrenabwehrrecht der Länder betreffend Hohlräume

Soweit ersichtlich haben nur die Bundesländer Thüringen und Sachsen landesrechtliche Genehmigungs- oder Anzeigepflichten in Bezug auf unterirdische Hohlräume geschaffen. § 4 Abs. 1 des Thüringer Gesetzes über die Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung in Objekten des Altbergbaus und in unterirdischen Hohlräumen (ThürABbUHG) enthält eine Genehmigungspflicht für die wesentliche Änderung oder gewerbliche Nutzung von Objekten des Altbergbaus sowie die Errichtung, wesentliche Änderung oder gewerbliche Nutzung unterirdischer Hohlräume.<sup>33</sup> Gemäß § 4 Abs. 3 ThürABbUHG bleiben andere Genehmigungen, Erlaubnisse oder Zustimmungen von dieser Regelung unberührt. Weniger weitgehend statuiert § 5 der Sächsischen Hohlraumverordnung eine Anzeigepflicht hinsichtlich der Nutzung unterirdischer Hohlräume sowie bergtechnischer Arbeiten in oder an unterirdischen Hohlräumen.<sup>34</sup> Damit ist ggf. ein

---

[arnsberg.nrw.de/themen/e/erdgas\\_rechtlicher\\_rahmen/vorschlag\\_bergrecht.pdf](https://arnsberg.nrw.de/themen/e/erdgas_rechtlicher_rahmen/vorschlag_bergrecht.pdf) (zuletzt abgerufen am 30.Mai 2011).

<sup>33</sup> Thüringer Gesetz über die Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung in Objekten des Altbergbaus und in unterirdischen Hohlräumen (ThürABbUHG), ThürGVBl 2001, S. 41.

<sup>34</sup> Polizeiverordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen sowie Halden und Restlöchern (Sächsische Hohlraumverordnung – SächsHohlVO), SächsGVBl 2002, S. 117.

präventives Eingreifen möglich, so dass die Anzeigepflicht ähnliche Wirkungen wie ein Genehmigungstatbestand entfalten kann.

Andere Bundesländer haben lediglich Vorschriften über die Zuständigkeit der Bergbehörden für die Gefahrenabwehr im Zusammenhang mit unterirdischen Hohlräumen erlassen, ohne Anzeige- oder Genehmigungspflichten einzuführen. Im Ergebnis besteht nur in Thüringen eine Genehmigungspflicht, in Sachsen zumindest eine Anzeigepflicht. Diese Vorschriften sind systematisch dem Recht der Gefahrenabwehr zuzurechnen, das in Länderzuständigkeit fällt, und nicht dem Bergrecht.<sup>35</sup> Insbesondere ist bei der Genehmigung bzw. nach Anzeige kein betriebsplanähnliches Verfahren vorgesehen. Solche Regelungen erscheinen vereinbar mit der Zielrichtung des Bundesgesetzgebers bei Streichung des § 130 BBergG a.F. Demnach sollte für Tunnel und andere unterirdische Hohlraumbauten die vor Inkrafttreten des BBergG geltende Rechtslage – Errichtung im Rahmen der Gewerbeaufsicht – wiederhergestellt werden.<sup>36</sup>

Um den Sachverstand der Bergbehörden als den fachlich qualifiziertesten Behörden für die Beurteilung untertägiger Arbeiten einzubinden, könnte auch in anderen, für die Errichtung untertägiger Pumpspeicherwerke geeigneten Bundesländern die Einführung von Genehmigungs- oder zumindest Anzeigepflichten geprüft werden. Die Zuständigkeit wäre den Bergbehörden zu übertragen. Als Vorbild könnten die Thüringer oder die sächsische Regelung herangezogen werden. Damit bestünde, wenn keine Abhilfe durch Änderung des BBergG geschaffen werden sollte, die Möglichkeit der Länder, eine fachlich qualifizierte Prüfung sicherzustellen.

#### 2.1.2.2.3 Untergrundspeicherung gemäß §§ 2 Abs. 2, 126 BBergG

Die Sondervorschrift des § 126 i.V.m. § 2 Abs. 2 BBergG regelt die Untersuchung sowie das Errichten und Betreiben von Untergrundspeichern. Jedoch besagt die Begriffsdefinition zur Untergrundspeicherung gem. § 4 Abs. 9 BBergG eindeutig, dass eine Speicherung von Wasser gerade nicht erfasst wird. Mit den Vorschriften über die Untergrundspeicherung wollte der Gesetzgeber explizit einen Rechtsrahmen für die vorübergehende Lagerung

---

<sup>35</sup> Vgl. auch zu den ordnungsbehördlichen Zuständigkeitsregelungen Boldt/Weller, BBergG, Ergänzungsband, zu § 130 Rn. 2.

<sup>36</sup> Begründung der Bundesregierung, BR-Drs. 30/85, S. 19.



von Erdöl, anderen Flüssigkeiten und Erdgas in Aquifer- und Kavernenspeichern schaffen,<sup>37</sup> nicht aber für Wasserspeicher.

Sachlich erscheint diese Einschränkung jedenfalls für die hier erörterte Errichtung untertägiger Pumpspeicherwerke angesichts ihrer Auswirkungen problematisch. Dies gilt umso mehr, als die teilweise vergleichbare Errichtung untertägiger Druckluftspeicherkraftwerke grundsätzlich dem Bergrecht unterfällt und eine bergrechtliche Zulassungspflicht unter Hinweis auf ihre Dimensionierung und die Nutzung unterirdischer Areale ausdrücklich als naheliegend bezeichnet wird.<sup>38</sup>

Das abweichende Ergebnis für untertägige Pumpspeicherwerke ließe sich aber nur im Wege der Gesetzesänderung vermeiden. Wie bereits ausgeführt, kann zum einen eine generelle Gesetzesänderung im Hinblick auf Hohlraumbauten in Betracht gezogen werden (oben 2.1.2.2.1). Zum anderen, ggf. auch ergänzend hierzu, könnte eine grundsätzliche Betriebsplanpflicht für untertägige Pumpspeicherwerke als besonders bedeutsame Hohlraumbauten eingeführt werden. Eine solche Regelung wäre einer ordnungsrechtlichen Genehmigungspflicht nach Landesrecht überlegen und könnte insbesondere die Betriebsüberwachung besser gewährleisten.

#### 2.1.2.2.4 Bohrungen gemäß § 127 BBergG

Soweit im Zusammenhang mit einem untertägigen Pumpspeicherwerk Bohrungen vorgenommen werden, kann § 127 BBergG i.V.m. § 2 Abs. 2 Nr. 3 BBergG Anwendung finden. Die Vorschrift erfasst Bohrungen, die mehr als 100 Meter in den Boden eindringen sollen, und erklärt die Vorschriften des BBergG teilweise für anwendbar. In diesem Falle greift regelmäßig nur eine Anzeigepflicht gemäß § 50 Abs. 1 BBergG. Eine Betriebsplanpflicht müsste gemäß § 127 Abs. 1 Nr. 2 BBergG von der zuständigen Behörde im Einzelfall angeordnet werden, sofern dies mit Rücksicht auf den Schutz Beschäftigter oder Dritter oder die Bedeutung des Betriebes für erforderlich gehalten wird. Wasserrechtliche Vorschriften bleiben nach § 127 Abs. 2 BBergG unberührt.

Anwendung finden könnte § 127 BBergG daher etwa bei Anlage von Lüftungs- oder Entlüftungsverbindungen zur Erdoberfläche sowie bei Probebohrungen. Das Abteufen von

---

<sup>37</sup> BT-Drs. 8/1315, S. 76.

<sup>38</sup> Dietrich / Brück von Oertzen, ET 4/2008, 85 (86 f.).

Schächten (für den Transport von Personen oder Material) wird in der Praxis der Bergämter hingegen nicht als „Bohrung“ i.S.v. § 127 BBergG angesehen, so dass weder eine Anzeige- noch eine Betriebsplanpflicht nach dieser Vorschrift eingreift.<sup>39</sup> Allerdings ist zweifelhaft, ob nach Streichung des § 130 BBergG a.F. nicht „erst recht“ von der Anwendbarkeit des § 127 BBergG ausgegangen werden muss, da die aus bergbaulicher Sicht relevanten Auswirkungen und Gefahren beim Abteufen von Schächten sogar größer sind. In der Sache erscheint dies naheliegend, insbesondere wenn keine landesrechtliche Anzeige- oder Genehmigungspflicht im Bereich der Gefahrenabwehr (oben 2.1.2.2.2) besteht.

Für das Auffahren untertägiger Speicherbecken, sowohl im Falle erstmaliger Anlage als auch bei Vergrößerung bestehender Hohlräume, dürfte es bereits an der Voraussetzung fehlen, dass mehr als 100 Meter in den Boden eingedrungen werden soll. Einzelheiten dieses Kriteriums sind allerdings nicht abschließend geklärt. Die Frage, ob sich die Entfernungsangabe (100 Meter) nicht nur auf die Tiefe bezieht, sondern allgemein als Längenangabe zu verstehen ist und damit auch Horizontalbohrungen erfasst, wird verbreitet bejaht.<sup>40</sup> Doch erscheint naheliegend, dass „Bohrungen“ i.S.v. § 127 BBergG von der Erdoberfläche ausgehen müssen, da andernfalls nicht von einem „Eindringen“ in den Boden gesprochen werden kann. Damit ist die Anlage oder Erweiterung untertägiger Speicherbecken, anders als das Abteufen von Schächten, bereits aus diesem Grund vom Anwendungsbereich des § 127 BBergG ausgeschlossen.

Die Anzeigepflicht (oder ggf. Betriebsplanpflicht) nach § 127 BBergG bezieht sich in jedem Fall nur auf die Durchführung der Bohrung, nicht aber auf die Nutzung des stillgelegten Bergwerkes als untertägiges Pumpspeicherwerk. Sie erfasst daher allenfalls einen sehr eingeschränkten Teil der erforderlichen untertägigen Maßnahmen. Auch der Änderungsvorschlag der Bezirksregierung Arnsberg, wonach der Anwendungsbereich des BBergG zukünftig auch auf Bohrungen ausgedehnt werden sollte, die weniger als 100 Meter in den Boden eindringen sollen<sup>41</sup>, würde insoweit zu keiner Änderung führen.

---

<sup>39</sup> So die Auskunft von Bergbehörden aus Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Hessen und Niedersachsen.

<sup>40</sup> Begründung zum Regierungsentwurf zu § 130, BT-Drs. 8/1315 Anlage 1, S. 151; Kremer / Neuhäus, Bergrecht, Rn. 533.

<sup>41</sup> Bezirksregierung Arnsberg, Vorschläge zur Änderung des Bergrechts 2011, Stand 18.02.2011, unter III.9., [http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/e/erdgas\\_rechtlicher\\_rahmen/vorschlag\\_bergrecht.pdf](http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/e/erdgas_rechtlicher_rahmen/vorschlag_bergrecht.pdf) (zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011).

#### 2.1.2.2.5 Anzeige nach Lagerstättengesetz (LagerstG)

Im Falle von Bohrmaßnahmen ist zudem das weiterhin gültige Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten (Lagerstättengesetz) zu beachten. Nach § 4 Abs. 1 LagerstG ist der Bohrbeginn bei allen mit mechanischer Kraft angetriebenen Bohrungen der gemäß § 1 LagerstG zuständigen geologischen Anstalt des Landes mindestens zwei Wochen im Voraus anzuzeigen, damit dieser die Möglichkeit eröffnet wird, bei der Bohrung im Einzelfall vor Ort zu sein.

#### 2.1.2.3 Situation vor Beendigung der Bergaufsicht gemäß § 69 Abs. 2 BBergG

Die durch bergbauliche Tätigkeiten nach §§ 2 Abs. 1, 3 BBergG begründete Anwendbarkeit des BBergG auf das Bergwerk endet mit Beendigung der Bergaufsicht. Diese wird bei stillgelegten Bergwerken häufig eingetreten sein. In diesem Fall findet das BBergG auf die Folgenutzung keine Anwendung (siehe oben 2.1.2.1.3.3).

Soweit ausnahmsweise noch ein Abschlussbetriebsplan für das stillgelegte Bergwerk in Geltung und die Bergaufsicht noch nicht beendet sein sollte, wäre der Abschlussbetriebsplan an die neue Folgenutzung anzupassen. Notwendig wäre ein Abänderungsantrag des Unternehmers, der die im Hinblick auf die Folgenutzung erforderlichen Änderungen enthält. Nähere Regelungen für diesen Fall sind nicht existent, Praxiserfahrungen nicht bekannt.

Festzuhalten ist, dass die Bergaufsicht sachlich, räumlich und zeitlich begrenzt wird eben durch den Geltungsbereich des BBergG. Diese kann nicht weiter reichen, als das Bergrecht Anwendung findet. Die Folgenutzung als untertägiges Pumpspeicherwerk selbst würde daher nicht dem Bergrecht unterfallen, sondern wäre nach den dafür geltenden anderweitigen Rechtsvorschriften zu beurteilen. Insbesondere wären auch die Regelungen zur Wiedernutzbarmachung der Oberfläche i. S. v. § 2 Abs. 1 Nr. 2 i. V. m. § 4 Abs. 4 BBergG nicht anwendbar, da Maßnahmen zur Durchführung einer Folgenutzung den entsprechenden Planungs- und Genehmigungsverfahren unterliegen.<sup>42</sup> In diesem Sinne hat etwa das VG Leipzig die Zuständigkeit der Bergbehörden in Bezug auf bergbaufremde Veranstaltungen in einem ehemaligen, noch unter Bergaufsicht stehenden Tagebaugebiet ver-

---

<sup>42</sup> Boldt/Weller, BBergG, Hauptband, § 2 Rn. 20f. und § 4 Rn. 20; Wilde, DVBl 1998, 1321 (1323).

neint. Eine Eingriffsmöglichkeit bestehe nur in dem Maße, in dem durch diese Veranstaltungen bergrechtliche Belange i.S.d. § 2 Abs. 1 BBergG wie etwa die Wiedernutzbarmachung der Oberfläche beeinträchtigt würden.<sup>43</sup>

#### 2.1.2.4 Zwischenergebnis

Nach derzeitiger Rechtslage ist das BBergG trotz des fachlichen Bezuges weitgehend unanwendbar im Zusammenhang mit einem untertägigen Pumpspeicherwerk. Dieses entspricht nicht dem bergrechtlichen Leitbild eines dynamischen Abbaubetriebes. Genehmigungs- oder zumindest Anzeigepflichten können sich aber teilweise im Bezug auf unterirdische Hohlräume (Landesrecht Thüringen und Sachsen) oder auf Bohrungen (§ 127 BBergG) ergeben. Außerdem besteht eine Anzeigepflicht von Bohrmaßnahmen nach § 4 LagerstG. Vor Beendigung der Bergaufsicht über stillgelegte Bergwerke sind zudem ggf. Anpassungen des Abschlussbetriebsplans erforderlich. Nur in Ausnahmefällen wird beim Auffahren von Hohlräumen oder Abteufen von Schächten eine Gewinnung von Rohstoffen, die dem BBergG unterfällt, vorliegen.

Die derzeitige Rechtslage ist im Hinblick auf die Auswirkungen untertägiger Pumpspeicherwerke unbefriedigend. Dies gilt insbesondere in den Bundesländern, die anders als Thüringen und Sachsen keine ordnungsrechtliche Genehmigungs- oder zumindest Anzeigepflicht kennen. Zur Verbesserung des Rechtsrahmens könnten interessierte Bundesländer jedenfalls den Erlass ordnungsrechtlicher Regelungen mit Genehmigungs- oder Anzeigepflichten nach Thüringer bzw. sächsischem Vorbild in Erwägung ziehen, um eine Prüfung durch die Bergbehörden im Vorfeld der Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerkes sicherzustellen. Vorrangig sollte aber geprüft werden, ob nicht eine befriedigende Lösung durch Änderung des BBergG erfolgen kann. In Betracht kommt zum einen eine generelle Anzeige- und ggf. Betriebsplanpflicht für Errichtung, Änderung und Betrieb unterirdischer Hohlraumbauten. Zum anderen, ggf. auch ergänzend, könnte für besonders bedeutsame Vorhaben eine grundsätzliche Betriebsplanpflicht eingeführt werden. Für untertägige Pumpspeicherwerke ließe sich dieses Ergebnis auch durch Ausdehnung des Anwendungsbereiches des § 126 BBergG erzielen.

---

<sup>43</sup> VG Leipzig, ZfB 2011, 81ff.; grundsätzlich ebenso die angegriffene Entscheidung des sächsischen Oberbergamts.

### **2.1.3 Wasserrecht**

Die Anwendbarkeit des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) setzt voraus, dass Gewässer i.S. dieses Gesetzes betroffen sind (2.1.3.1). Für Errichtung und Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks werden diverse wasserrechtliche Gestattungen hinsichtlich der notwendigen Gewässerbenutzungen, welche in § 9 WHG aufgeführt sind, erforderlich, da in der Regel sowohl auf vorhandene oberirdische Gewässer als auch auf Grundwasser eingewirkt wird (2.1.3.2). In Betracht kommt weiterhin eine Anzeigepflicht für Erdaufschlüsse nach § 49 WHG (2.1.3.3) und eine Eignungsfeststellung für Anlagen zur Lagerung wassergefährdender Stoffe nach §§ 62, 63 WHG (2.1.3.4). Besondere Anforderungen gelten im Falle von Wasserschutzgebieten (2.1.3.5). Soweit ein planfeststellungs- bzw. plangenehmigungsbedürftiger Gewässerausbau gemäß §§ 67, 68 WHG vorliegt, schließt dieser den Benutzungstatbestände nach § 9 WHG aus (2.1.3.6).

#### **2.1.3.1 Gewässereigenschaft**

##### **2.1.3.1.1 Vorhandene oberirdische Gewässer und vorhandenes Grundwasser**

Das WHG findet gemäß § 2 Abs. 1 WHG nur Anwendung auf „Gewässer“ in Form oberirdischer Gewässer, der Küstengewässer oder des Grundwassers sowie auf Teile dieser Gewässer. Gewässer i.S.d. WHG sind dadurch gekennzeichnet, dass sie in den natürlichen Wasserkreislauf eingebunden sind und damit auch Verbindung zur Ökologie haben.<sup>44</sup> Die Teilhabe an der Gewässerfunktion kann sich aus natürlichen Prozessen wie Verdunstung, Versickerung, Auffangen von Regenwasser oder von aufsteigendem Grundwasser ergeben, wobei nicht jede Einschränkung der Gewässerfunktionen die Gewässereigenschaft aufhebt.<sup>45</sup> Nicht erfasst werden hingegen sog. geschlossene Wasserkreisläufe. Das BVerwG hat im Hinblick auf oberirdische Gewässer unter Hinweis auf den Regelungszweck des Wasserrechts jüngst nochmals ausgeführt, dass ein verrohrter Streckenabschnitt (nur) dann aus dem wasserrechtlichen Regelungsregime zu entlassen ist, wenn mit dem Wegfall

---

<sup>44</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 2 Rn. 7; Knopp in S/Z/D/K, WHG, § 1 WHG a.F. Rn. 4; BVerwG ZfW 2006, 209 (211); OVG Lüneburg, ZfW 2003, 174; BayVGH ZfW 1990, 467 (467).

<sup>45</sup> Vgl. etwa Knopp in S/Z/D/K, WHG, § 1 WHG a.F. Rn. 4; BVerwG, Urt. v. 15.6.2005 – Az. 9 C 8.04 – unter II.3.a).

des Gewässerbettes eine Absonderung vom natürlichen Wasserkreislauf einhergeht, die sich insbesondere in der Beeinträchtigung der Gewässerfunktionen zeigt.<sup>46</sup>

Sicher zu bejahen ist die Anwendbarkeit des WHG, soweit im Zusammenhang mit einem untertägigen Pumpspeicherwerk auf vorhandene oberirdische Gewässer zugegriffen wird, um die Speicherbecken zu befüllen oder überschüssiges Wasser abzuleiten. Gleichfalls zu bejahen ist die Anwendbarkeit, soweit zur Befüllung der Speicherbecken auf vorhandenes Grundwasser zugegriffen wird. Zum Grundwasser gehört etwa auch das im Zusammenhang mit bergbaulichen Maßnahmen anfallende „erschotene“ sowie das in Bergwerkstollen stehende oder fließende Wasser (unten 2.1.3.1.2). Grundwasser ist auch berührt, soweit aus den untertägigen Speicherbecken Wasser in vorhandene Grundwasserschichten versickert. Schließlich ist der Anwendungsbereich des WHG eröffnet, wenn der zuvor bestehende Grundwasserspiegel zur Errichtung bzw. zum Betrieb von Speicherbecken und Maschinenkaverne abgesenkt wird.

#### 2.1.3.1.2 Speicherbecken

##### 2.1.3.1.2.1 Fehlende Gewässereigenschaft

Näherer Betrachtung bedarf die Frage, ob auch die Speicherbecken eines untertägigen Pumpspeicherwerkes dem Gewässerbegriff unterfallen. Insoweit ist festzustellen, dass oberirdische Pumpspeicherbecken verbreitet als vom natürlichen Wasserkreislauf abgesondert eingestuft werden, also keine Gewässer i.S.d. WHG darstellen.<sup>47</sup> Diese Einordnung scheint u.a. auf der Einschätzung zu beruhen, dass es sich bei ihnen um nach außen hin undurchlässige Becken oder Behälter handelt.<sup>48</sup> Allerdings haben auch oberirdische Pumpspeicherbecken an natürlichen Prozessen des Wasserkreislaufs Anteil wie insbesondere Verdunstung und Auffangen von Regenwasser. Auch ein Versickern von Wasser aus den Speicherbecken dürfte in der Regel anzunehmen sein, sofern diese nicht speziell abgedichtet worden sind. Die Einordnung kann daher nicht allein auf die äußere Abgeschlossenheit der Speicherbecken gestützt werden. Als weiterer Ansatzpunkt für oder gegen die Einordnung als „Gewässer“ i.S.d. WHG zeichnet sich die Beurteilung ab, ob das Wasser einer eigenständigen technischen Benutzung zugeführt wird. So hat das BVerwG

---

<sup>46</sup> BVerwG, Urt. v. 27.01.2011 – Az. 7 C 3.10 – Rn. 18, 20.

<sup>47</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 2 Rn. 8; Berendes, WHG, § 3 Rn. 4.

jüngst die Einordnung als oberirdisches Gewässer auch für einen verrohrten Teilabschnitt anerkannt, wenn die verrohrte Wasserführung allein wasserwirtschaftlichen Zwecken diene und das Wasser keiner eigenständigen technischen Benutzung zugeführt wurde. Vorzunehmen ist eine wertende Betrachtung, ob die Verbindung zum natürlichen Wasserhaushalt unterbrochen worden ist.<sup>49</sup> Das BVerwG geht grundsätzlich von einem Verlust der Gewässerfunktion – etwa als Entstehungs- und Entwicklungsraum für Lebewesen zu dienen – aus, wenn gewerbliche Anlagen die Gewässerfunktion nicht lediglich nutzen, sondern durch selbständige und eigengesetzliche Funktionen – wie etwa die Einbeziehung in einen industriellen Produktionskreislauf – weitgehend verdrängen oder ersetzen. Dazu genügt nicht die Nutzung der Gewässerfunktion in besonderer Weise, etwa für die Fischzucht, solange die Gewässerfunktion nicht – insbesondere durch einen Kreislaufbetrieb des Wassers – anderen, gewässerfremden Einflüssen und Gesetzmäßigkeiten unterworfen wird.<sup>50</sup> Dieser Aspekt der technischen Benutzung könnte die Verneinung der Gewässereigenschaft für oberirdische Pumpspeicherbecken begründen.

Für unterirdische Pumpspeicherbecken gilt im Grundsatz Entsprechendes wie für oberirdische Pumpspeicherbecken. Zunächst besteht nach Angaben des Projektbereichs Bergbau kein im physischen Sinne geschlossener Wasserkreislauf. Vielmehr ist davon auszugehen, dass versickerndes Wasser permanent hinzukommen wird, welches wieder in den natürlichen Wasserkreislauf abgegeben werden muss.<sup>51</sup> Außerdem wird auch aus den Speicherbecken regelmäßig Wasser versickern. Eine Absonderung vom natürlichen Wasserkreislauf könnte sich jedoch aus der technischen Nutzung der Pumpspeicherbecken zur Speicherung und Erzeugung von Elektrizität ergeben. Bei wertender Betrachtung dienen die Becken eines (untertägigen) Pumpspeicherwerkes nicht der Nutzung der Gewässerfunktionen, sondern selbständigen und eigengesetzlichen Funktionen. Insoweit besteht eine erhebliche Ähnlichkeit zu der vom BVerwG angesprochenen Einbeziehung in einen industriellen Produktionskreislauf und zu der Unterwerfung der Gewässerfunktion – insbesondere durch Kreislaufbetrieb des Wassers – unter andere, gewässerfremde Ein-

---

<sup>48</sup> Vgl. Czychowski/Reinhardt, WHG, § 2 Rn. 8.

<sup>49</sup> BVerwG, Urt. v. 27.01.2011 – Az. 7 C 3.10 – Rn. 21 f. Vgl. bereits BVerwG, Urt. v. 15.6.2005 – Az. 9 C 8.04 – unter II.3.a); anders noch BVerwGE 49, 293, 298 f.

<sup>50</sup> BVerwG, Urt. v. 15.6.2005 – Az. 9 C 8.04 – unter II.3.a). Dem folgend etwa Knopp in S/Z/D/K, WHG, § 1 WHG a.F. Rn. 4; OVG Münster, Urt. v. 22.11.2005 – Az. 9 A 4168/03.

<sup>51</sup> Für das Modellbergwerk Bad Grund kann bezugnehmend auf bisherige Erfahrungen mit einem täglichen Pumpvolumen von circa 4000 bis 5000 m<sup>3</sup> pro Tag gerechnet werden (siehe hierzu Teilbericht Umweltauswirkungen).



flüsse und Gesetzlichkeiten.<sup>52</sup> Das Wasser wird einer eigenständigen technischen Benutzung zugeführt.<sup>53</sup>

Entsprechend hat auch das Thüringer OVG ein auf lange Dauer angelegtes, ausgedehntes oberirdisches Wasserbecken nicht als Gewässer, sondern als technische Anlage eingestuft, weil es mit den Teilen Vorklärbecken, Hauptbecken und Trockenbeeten als zentrale mechanische Reinigungsanlage für die Grubenwässer der ehemaligen Bergbaubetriebe eines Uranbergbaus diene. Dazu wurde nicht nur eine Gewässerfunktion genutzt, sondern das Becken wurde für diese technische Zweckbestimmung angelegt und hierdurch geprägt.<sup>54</sup>

Der dargestellte Ansatz ist nicht unproblematisch, soweit er nicht zur Bejahung der Gewässereigenschaft (trotz z.B. teilweiser Verrohrung) herangezogen wird, sondern umgekehrt zu deren Ablehnung. In der Konsequenz können wasserrechtliche Anforderungen nicht auf die Pumpspeicherbecken angewendet werden, obwohl diese physisch in erheblichem Umfang in Austausch mit dem natürlichen Wasserkreislauf stehen und diesen daher insbesondere auch erheblich schädigen können. Die Rechtsprechung scheint insoweit aber, insbesondere nach der ausdrücklichen Bestätigung des Ansatzes einer wertenden Betrachtung durch das BVerwG im Januar 2011, festgelegt zu sein. Zudem können die Auswirkungen auf vorhandene Gewässer im Rahmen der wasserrechtlichen Benutzungstatbestände einer Kontrolle unterzogen werden, so dass die unmittelbare Anwendung des WHG auf die Speicherbecken weniger dringend ist.

#### 2.1.3.1.2.2 Hilfsbetrachtung: Bejahung der Gewässereigenschaft

Nur ergänzend und hilfsweise soll kurz dargestellt werden, wie die weitere Beurteilung im Falle der Einordnung der Speicherbecken als Gewässer ausfallen würde. Da das WHG gemäß § 2 Abs. 1 WHG nur Anwendung auf oberirdische Gewässer, Küstengewässer und Grundwasser findet und da die Speicherbecken weder einem oberirdischen Gewässer noch einem Küstengewässer zugeordnet werden können, würde die Anwendbarkeit des WHG weiterhin deren Zuordnung zum Grundwasser voraussetzen. Grundwasser ist nach § 1 Abs. 1 Nr. 3 WHG das unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund steht. Für Grundwasser ist dabei

---

<sup>52</sup> BVerwG, Urt. v. 15.6.2005 – Az. 9 C 8.04 – unter II.3.a).

<sup>53</sup> Vgl. zu diesem Kriterium BVerwG, Urt. v. 27.01.2011 – Az. 7 C 3.10 – Rn. 22.

nicht entscheidend, welchen Ursprung es hat<sup>55</sup>, ob es fließt oder gespannt in Höhlen verharrt, ob sein Abfluss durch menschliche Einwirkung verändert wurde (z.B. Aufstauen) oder natürlicher Art ist. Denkbar ist schließlich, dass Grundwasser etwa infolge bergbaulicher Tätigkeit seine Lage und Fließeigenschaften verändert. Zum Grundwasser gehört auch das im Zusammenhang mit bergbaulichen Maßnahmen anfallende erschotene sowie das in Bergwerkstollen stehende oder fließende Wasser.

Vorliegend ist die Einordnung problematisch, doch könnten die Speicherbecken im Ergebnis dem Grundwasser zugeordnet werden. Zwar kann möglicherweise nicht stets festgestellt werden, dass die Speicherbecken sich in der (natürlichen) Sättigungszone befinden. Bereits die beabsichtigte Nutzung anfallenden Grubenwassers zur Befüllung der untertägigen Speicherbecken spricht jedoch für die Einordnung des betroffenen Wassers als „Grundwasser“. Zudem, und selbst bei Befüllung aus oberirdischen Gewässern, führt die Anfüllung einer untertägigen Kaverne jedenfalls zu einer künstlichen Sättigung und lokalen Anhebung des Grundwasserspiegels.<sup>56</sup> Auch Wasser, das in unterirdischen Drainageleitungen abgeführt wird, wurde als Grundwasser eingeordnet.<sup>57</sup> Das OVG Münster hat kürzlich aus der Unterscheidung des WHG (nur) nach „oberirdischen Gewässern“ und „Grundwasser“ abgeleitet, dass mit dem Verlassen eines oberirdischen Gewässers und dem Eintritt in das Erdreich Wasser zu Grundwasser wird, da das Gesetz etwas Drittes im Sinne eines Zwischenstadiums nicht vorsehe.<sup>58</sup>

Würde die Einordnung als Grundwasser – entgegen den oben dargestellten Überlegungen zur Gewässereigenschaft – bejaht, so hätte dies insbesondere Bedeutung für die Prüfung, ob im Zusammenhang mit der Anlage eines untertägigen Pumpspeicherwerkes ein Gewässerausbau i.S.v. §§ 67, 68 WGH stattfindet. Hierauf ist im Rahmen der weiteren Darstellung einzugehen (unten 2.1.3.6). Daneben würden sich auch Auswirkungen auf die genehmigungspflichtigen Benutzungstatbestände nach § 9 WHG ergeben (unten 2.1.3.2.1).

---

<sup>54</sup> OVG Weimar, UPR 2007, 113 (114).

<sup>55</sup> Dies bedeutet, dass auch oberirdisches Wasser, das in ein untertägiges Speicherbecken eingeleitet wird, zu Grundwasser i.S.d. WHG wird, vgl. S/Z/D/K, WHG, § 1 Rn. 12; HessVGH, ZfW 1999, 160 (161).

<sup>56</sup> So auch die Auskunft der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

<sup>57</sup> OVG Koblenz, ZfW 1989, 165 (166); S/Z/D/K, WHG, § 1 Rn. 9a; Czychowski/Reinhardt, WHG, § 2 Rn. 8.

<sup>58</sup> OVG Münster v. 27.7.2010, AZ 9 A 2967/08, Rn. 54 (zum sog. Uferfiltrat).

## 2.1.3.2 Genehmigungspflichtige Gewässerbenutzungen gemäß § 9 WHG

### 2.1.3.2.1 Benutzungstatbestände

Gewässerbenutzungen i.S.v. § 9 WHG bedürfen in der Regel einer vorherigen Genehmigung, vgl. § 8 WHG. Hierbei ist zwischen verschiedenen Benutzungstatbeständen zu unterscheiden. Allgemein sind Gewässerbenutzungen zweckgerichtete Verhaltensweisen, die unmittelbar auf ein Gewässer gerichtet sind und sich der Gewässer zur Erreichung bestimmter Zwecke bedienen. Entscheidend ist die aus dem äußeren Geschehensablauf herzuleitende Zielrichtung der Handlung, nicht die subjektive Zielrichtung des Handelnden.<sup>59</sup> Soweit allerdings die Vorschrift des § 67 Abs. 2 WHG über den Ausbau von Gewässern auch für untertägige Pumpspeicherwerke für anwendbar gehalten wird (näher dazu oben 2.1.3.1.2.2 und unten 2.1.3.6), stellen gemäß § 9 Abs. 3 WHG solche Maßnahmen, die dem Gewässerausbau dienen, keine Benutzungen dar. In der Folge werden zunächst mögliche Benutzungen ohne Berücksichtigung der Ausnahmegesetzvorschrift des § 9 Abs. 3 WHG geprüft.

Im Rahmen der Bauphase ist es notwendig, dass eine neue Grundwasserhaltung installiert wird, um das regelmäßig im Berg stehende Grundwasser dauerhaft abzusenken und so die notwendigen Baumaßnahmen zu ermöglichen. Hierfür ist eine wasserrechtliche Gestattung zum Zutagefördern, Zutageleiten oder Ableiten des Grundwassers gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG notwendig. Zutagefördern von Wasser ist danach ein planmäßiges Emporheben, mittels besonderer dazu bestimmter oder geeigneter Einrichtungen, beispielsweise durch Pumpen.<sup>60</sup> Beim Zutageleiten wird Grundwasser freigelegt, das natürliche Gefälle oder der artesischen Druck des Wassers genutzt.<sup>61</sup> Unter Ableiten ist das unterirdische Lösen und Fortleiten des Grundwassers aus seinem natürlichen Zusammenhang zu verstehen.<sup>62</sup>

Das Zutagefördern, Zutageleiten oder Ableiten stetig hinzutretenden und damit überschüssigen Wassers aus dem unterirdischen Pumpspeichersystem während der Betriebsphase ist ebenfalls als ein Zutagefördern, Zutageleiten bzw. Ableiten von Grundwasser i.S.d. § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG zu qualifizieren. Anderes gilt nur für das Wasser aus den Spei-

---

<sup>59</sup> Vgl. etwa Berendes, WHG, § 9 Rn. 3; Czychowski/Reinhardt, WHG, § 9 Rn. 5, 72.

<sup>60</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 9 Rn. 68; OVG Lüneburg, ZfW 2007, 240.

<sup>61</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 9 Rn. 68.

<sup>62</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 9 Rn. 68.

cherbecken selbst, welches, wie unter 2.1.3.1.2 dargestellt, nicht dem Grundwasser zugeordnet werden kann.

In der Bau- und Betriebsphase kann auch der Tatbestand des § 9 Abs. 2 Nr. 1 WHG erfüllt sein, der insbesondere das Absenken von Grundwasser durch Anlagen erfasst, die hierfür bestimmt oder geeignet sind. Zu den angesprochenen Anlagen, die zur Grundwasserabsenkung bestimmt oder geeignet sind, werden auch Pumpen oder Stollen gezählt.<sup>63</sup> Im Einzelfall können im Zusammenhang mit dem Bau oder Betrieb des unterirdischen Pumpspeicherwerkes auch weitere Anlagen (z.B. Mauern oder Wannen) errichtet werden, die i.S.v. § 9 Abs. 2 S. 1 WHG bestimmt oder geeignet sind, Grundwasser abzusenken oder umzuleiten.

Zudem wäre in Bau- und Betriebsphase aufgrund des Einleitens von überschüssigem Wasser in ein oberirdisches Gewässer, ggf. auch in einen vorhandenen Wasserlösungsstollen (Grundwasser), grundsätzlich eine Benutzung in Form des Einleitens von Stoffen in Gewässer nach § 9 Abs. 1 Nr. 4 WHG einschlägig.<sup>64</sup> Der Begriff „Stoff“ ist dabei weit auszulegen und erfasst flüssige und gasförmige Stoffe jeder Art, mithin auch Wasser, insbesondere auch gefördertes Grubenwasser.

Hinsichtlich der Befüllung der Speicherbecken kommt je nach Einzelfall zudem das Entnehmen oder Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 1 WHG bzw. das Entnehmen oder Ableiten von Grundwasser gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG in Betracht. Beide Anwendungsfälle können durch den Wassertransport zu den Speicherbecken vorliegend gegeben sein, je nachdem, ob eine Speisung aus einem grundwasserführenden Wasserlösungsstollen möglich ist oder eine Zuführung von Wasser aus einem oberirdischen Gewässer notwendig ist.

Das Aufstauen von Grundwasser durch Anlagen, die hierfür bestimmt oder geeignet sind, ist nach § 9 Abs. 2 Nr. 1 WHG ebenfalls gestattungspflichtig. Wenn die Speicherbecken mit der oben dargestellten Auffassung nicht dem Grundwasser zugeordnet werden, ist dieser Benutzungstatbestand nicht erfüllt. Andernfalls wäre auch dieser Tatbestand einschlägig, soweit nicht in der Herstellung der Speicherbecken ein Gewässerausbau gesehen wird (unten 2.1.3.6). Der Begriff des Aufstauens ist ebenso zu verstehen wie im Rahmen

---

<sup>63</sup> So Czychowski/Reinhardt, WHG, § 9 Rn. 77.

des Aufstauens von oberirdischen Gewässern und stellt jedes Anheben der natürlichen Wasserspiegellage durch künstliche Beeinflussung dar, was vorliegend durch das Aufstauen des zuvor entnommenen Wassers in den Speicherbecken gegeben wäre.<sup>65</sup>

Das Versickern von Wasser aus den Speicherbecken in das Grundwasser unterfällt, da keine zweckgerichtet auf das Grundwasser zielende Maßnahme vorliegt, nicht den Benutzungstatbeständen des § 9 Abs. 1 oder Abs. 2 Nr. 1 WHG. In Betracht kommt hingegen eine Benutzung nach § 9 Abs. 2 Nr. 2 WHG, der zwar gleichfalls eine zweckgerichtete Maßnahme verlangt, die aber nicht auf Gewässer bezogen sein muss, solange sie objektiv geeignet ist, die beschriebenen Veränderungen des Wassers herbeizuführen.<sup>66</sup> Hierunter könnte auch der Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes gefasst werden, der objektiv geeignet ist, eine erhebliche Beeinflussung des Grundwassers durch versickerndes Speicherwasser herbeizuführen. Entscheidend für die Anwendbarkeit des § 9 Abs. 2 Nr. 2 WHG ist insoweit, ob sich in erheblichem Ausmaß nachteilige Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit ergeben können. Dies muss im Einzelfall beurteilt werden.

#### 2.1.3.2.2 Genehmigungsvoraussetzungen

Hinsichtlich der wasserrechtlichen Gestattungen sind aus materieller Sicht insbesondere die allgemeinen Bewirtschaftungsgrundsätze gem. § 6 WHG sowie das Verbot von schädlichen, nicht vermeidbaren Gewässerveränderungen, § 12 Abs. 1 Nr. 1 WHG, zu beachten. Schädlich sind gemäß § 3 Nr. 10 WHG alle Gewässerveränderungen, die gegen das Wohl der Allgemeinheit oder gegen sonstige wasserrechtliche Vorschriften verstoßen.<sup>67</sup>

Zudem sind aufgrund der überragenden Bedeutung des Grundwassers im ökologischen Haushalt besondere Vorgaben für das Grundwasser, welche sich aus §§ 47, 48 WHG ergeben, zu erfüllen. Gemäß § 47 Abs. 1 WHG ist dabei das Grundwasser so zu bewirtschaften, dass insbesondere eine Verschlechterung des mengenmäßigen und chemischen Zustands

---

<sup>64</sup> Vgl. insgesamt zu notwendigen wasserrechtlichen Gestattungen hinsichtlich der (herkömmlichen) Wasserkraftnutzung bei Reinhardt, NuR 2006, 205 (207) sowie bei Breuer/Berendes, RdWEWi 29, 71 (72f.).

<sup>65</sup> Keine Benutzung wäre bei bloßem Ansammeln von Wasser in entsprechenden Pumpspeicherbecken gegeben, vgl. Czychowski/Reinhardt, WHG, § 9 Rn. 19, 75. Nach Angaben des Projektbereichs Bergbau ist aufgrund des Zeitaufwandes nicht von dieser Variante auszugehen.

<sup>66</sup> Vgl. etwa Berendes, WHG, § 9 Rn. 14; Czychowski/Reinhardt, WHG, § 9 Rn. 72, 85.

<sup>67</sup> BR-Drs. 280/09, S. 151 u. 158.

vermieden wird bzw. ein guter mengenmäßiger und guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht wird.

Lässt sich dies nicht sicherstellen, so ist eine Ausnahme von den Bewirtschaftungszielen gemäß § 47 Abs. 3 S. 1 i.V.m. § 31 Abs. 2 S. 1 WHG zu prüfen.<sup>68</sup> Diese setzt voraus, dass die Verschlechterung des Zustands (bzw. die Nichterhaltung oder –erreicherung eines guten Zustands) auf einer neuen Veränderung der physischen Gewässereigenschaften oder des Grundwasserstands beruht (§ 31 Abs. 2 S. 1 Nr. 1 WHG). Dieses Merkmal ist weit zu verstehen, kann beispielsweise zum Zwecke des Bergbaus oder der Wasserkraftnutzung auftreten und daher im Zusammenhang mit dem Absenken von Grundwasser grundsätzlich zutreffen. Weiterhin müssen die Gründe der Veränderung von übergeordnetem öffentlichem Interesse sein oder der Nutzen der Veränderung überwiegen (Nr. 2). Der Begriff des öffentlichen Interesses beinhaltet dabei neben wasserwirtschaftlichen Belangen auch die Daseinsvorsorge im Übrigen, beispielsweise auch die Energieversorgung. Da auch die Berücksichtigung des Nutzens für die nachhaltige Entwicklung explizit genannt wird, erscheint auch diese Voraussetzung vorliegend erfüllbar, da untertägige Pumpspeicherwerke insbesondere der Integration von Strom aus Erneuerbaren Energien dienen würden. Darüber hinaus ist die Erforderlichkeit der Gewässeränderung zu prüfen (Nr. 3). Auch dieses erscheint naheliegend, da alternative Maßnahmen nur zu berücksichtigen sind, wenn sie wesentlich geringere nachteilige Auswirkungen für die Umwelt haben, technisch durchführbar sind und keinen unverhältnismäßigen Aufwand verursachen. Im Ergebnis wären insoweit Ausnahmen von den Bewirtschaftungszielen denkbar. Dabei müssten allerdings alle praktisch geeigneten Maßnahmen ergriffen werden (insb. Wasseraufbereitung), um die nachteiligen Auswirkungen auf den Gewässerzustand zu verringern (Nr. 4).

Besondere Genehmigungsanforderungen ergeben sich aus § 48 Abs. 1 WHG. Danach darf eine Erlaubnis für das Einbringen und Einleiten von Stoffen in das Grundwasser nur erteilt werden, wenn eine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist. Nachteilig ist eine Veränderung dann, wenn sich die physikalischen, chemischen oder biologischen Eigenschaften des Wassers im Vergleich zur vorherigen Beschaffenheit verschlechtern haben. Ausreichend ist hierbei nach dem Besorgnisgrundsatz, dass

---

<sup>68</sup> Das Verfehlen der in § 47 Abs. 1 aufgestellten allgemeinen Bewirtschaftungsziele wird z.B. im Zuge bergbaulicher Tätigkeiten für zulässig gehalten; vgl. Czychowski/Reinhardt, WHG, § 47 Rn. 20.

die Möglichkeit des Eintritts der nachteiligen Veränderung auf Grund der wasserwirtschaftlichen Erkenntnisse und Erfahrungen, sei es auch bei ungewöhnlichen Umständen, nach menschlicher Erfahrung nicht als unwahrscheinlich angesehen werden kann.

Geht man mit der oben dargestellten Auffassung davon aus, dass die untertägigen Pumpspeicherbecken nicht dem Grundwasser zuzuordnen sind, so stellt deren Befüllung kein „Einbringen und Einleiten von Stoffen in das Grundwasser“ i.S.v. § 48 Abs. 1 WHG dar. Dagegen kann das Ableiten überschüssigen Wassers aus den Speicherbecken über vorhandene Wasserlösungsstollen diesen Tatbestand erfüllen, da das in Wasserlösungsstollen befindliche Wasser dem Grundwasserbegriff unterfällt. In der Regel dürfte jedoch keine nachteilige Veränderung der physikalischen, chemischen oder biologischen Eigenschaften des vorhandenen Grundwassers zu erwarten sein, da von einer ähnlichen Belastung des vorhandenen Grundwassers auszugehen ist wie sie auch etwa zugeleitetes Wasser aus den Speicherbecken aufweisen könnte. Andernfalls kann den Anforderungen des § 48 Abs. 1 WHG jedenfalls durch abwendende Nebenbestimmungen im Rahmen der wasserrechtlichen Gestattung Genüge getan werden.

Spezielle Bestimmungen zum Schutz des Grundwassers enthält die Grundwasserverordnung (GrwV).<sup>69</sup> Insbesondere gibt Anlage 2 für bestimmte Substanzen Schwellenwerte vor, bei deren Überschreitung besondere Maßnahmen zu ergreifen sind. Außerdem ist im Rahmen der Maßnahmenprogramme nach § 82 WHG für alle Flussgebietseinheiten die Sonderregelung des § 13 GrwV für die Schadstoffe und Schadstoffgruppen nach Anlagen 7 bzw. 8 GrwV zu beachten, wonach der Schadstoffeintrag zu verhindern bzw. zu begrenzen ist. Eine Beurteilung der Konsequenzen für untertägige Pumpspeicherwerke muss im Einzelfall erfolgen.

Weitere Bearbeitungen sind im Teilbericht Umweltauswirkungen vorhanden.

#### 2.1.3.2.3 Exkurs: Wasserentnahmeentgelte

Landesrechtliche Regelungen zur Erhebung von Entgelten hinsichtlich einer Gewässerbenutzung stellen zwar keine Genehmigungsvoraussetzungen im engeren Sinne dar. Dennoch soll an dieser Stelle kurz darauf eingegangen werden. In einer ganzen Reihe von

---

<sup>69</sup> Verordnung zum Schutz des Grundwassers v. 9.11.2010, BGBl. 2010, 1513.



Landeswassergesetzen sind Vorschriften zur Erhebung von Wasserentnahmeentgelten vorgesehen.<sup>70</sup> Das Entgelt wird zumeist erhoben für das Entnehmen, Ableiten, Zutagefördern und Zutageleiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern und von Grundwasser gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 1 und 5 WHG.<sup>71</sup> Hieraus ergibt sich, dass einerseits für die Erstbefüllung der Speicherbecken, andererseits aber auch für das permanente Ableiten überschüssigen Wassers (vgl. zu den Benutzungstatbeständen schon oben 2.1.3.2.1) ein Entgelt in Betracht kommt. Von dieser Entgeltpflicht werden allerdings teilweise auch Ausnahmen zugelassen.<sup>72</sup> Inwieweit die jeweiligen landesrechtlichen Ausnahmen für die Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks in Betracht kommen, wird in der näheren Betrachtung zu den beiden Modellbergwerken dargelegt.

### 2.1.3.3 Erdaufschlüsse gem. § 49 WHG

Sofern zur Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks Bohrungen oder insbesondere Schachtabteufungen notwendig werden, so könnte es sich um Erdaufschlüsse i.S.v. § 49 WHG handeln.<sup>73</sup> Dies ist nach § 49 Abs. 1 S. 1 dann der Fall, wenn so tief in den Boden eingedrungen wird, dass sich die Eingriffsmaßnahmen unmittelbar oder mittelbar auf die Bewegung, die Höhe oder die Beschaffenheit des Grundwassers auswirken können. In diesem Fall sind der zuständigen Behörde die geplanten Maßnahmen einen Monat vor Beginn der Arbeiten anzuzeigen. Bei Bohrungen und Schachtabteufungen zur Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerkes dürfte dies regelmäßig der Fall sein. Die zuständige Behörde hat gemäß § 49 Abs. 3 WHG zur Vermeidung einer nachteiligen Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit ggf. entsprechende Anordnungen zu treffen.

---

<sup>70</sup> An dieser Stelle wird auf die Bundesländer Bezug genommen, welche im Rahmen dieser Studie räumliches Potential zur Nachnutzung von ehemaligen Bergwerksanlagen als Wasserspeicher aufweisen. Dies sind unter Rückgriff auf die Ergebnisse der bergbaulichen Bearbeitung Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen.

<sup>71</sup> Vgl. § 17c WG-BW; § 21 Abs. 1 NWG; § 23 Abs. 1 SächsWG. In Sachsen-Anhalt besteht mit § 105 WG LSA eine Verordnungsermächtigung zur Erhebung eines Wasserentnahmeentgelts, wovon derzeit noch nicht Gebrauch gemacht worden ist. In Nordrhein-Westfalen besteht derzeit noch durch das Gesetz über die Erhebung eines Entgeltes für die Entnahme von Wasser aus Gewässern (Wasserentnahmeentgeltgesetz – WasEG) vom 27. Januar 2004 eine Entgeltpflicht, vgl. § 1 Abs. 1 WasEG; jedoch wurde durch das Gesetz zur Abschaffung des Wasserentnahmeentgeltes – WasEG – vom 8. Dezember 2009 eine schrittweise Abschaffung des Entgelts bis zum 31.12.2018 beschlossen. In Hessen, Rheinland-Pfalz und Thüringen wird nach derzeitigem Rechtsstand keine Wasserentnahmegebühr erhoben.

<sup>72</sup> Vgl. § 17d WG-BW; § 21 Abs. 2 NWG; § 1 Abs. 2 WasEG; § 23 Abs. 4 SächsWG.

#### 2.1.3.4 Eignungsfeststellung gem. §§ 62, 63 WHG

Möglicherweise wären im Zusammenhang mit einem Pumpspeicherwerk zudem Anlagen zum Lagern wassergefährdender Stoffe nach §§ 62 f. WHG zu berücksichtigen. Denkbar wäre dies einerseits hinsichtlich einer etwaigen Aufhaldung von Gesteinsaushub, andererseits hinsichtlich der Wasserspeicherung in den Speicherbecken. Dies würde besondere Anforderungen an ihre Errichtung, Unterhaltung, Betrieb und Stilllegung begründen und insbesondere eine vorherige behördliche Eignungsfeststellung voraussetzen. Die §§ 62 f. WHG gehen der Regelung des § 48 Abs. 2 S. 1 WHG vor, demzufolge Stoffe nur so gelagert werden dürfen, dass eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist.<sup>74</sup>

Wassergefährdende Stoffe i.S.v. §§ 62, 63 WHG sind feste, flüssige und gasförmige Stoffe, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen, § 62 Abs. 3 WHG. Eine nähere Bestimmung der wassergefährdenden Stoffe und ihre Einstufung kann in einer Rechtsverordnung nach § 62 Abs. 4 WHG erfolgen. Es lässt sich nicht von vornherein ausschließen, dass im Einzelfall Gesteinsaushub anfällt und gelagert werden soll, der als wassergefährdend einzustufen ist. In diesem Fall wäre eine Eignungsfeststellung nach §§ 62, 63 WHG erforderlich.

Fraglich erscheint, ob im Einzelfall möglicherweise auch belastetes Speicherwasser anfallen könnte und daher auch die Speicherbecken einer Eignungsfeststellung bedürfen. Eine Eignungsfeststellung nach § 63 WHG ist aber nur für Anlagen zum „Lagern, Abfüllen oder Umschlagen“ wassergefährdender Stoffe vorgesehen, wobei vorliegend nur die Alternative des Lagerns relevant sein könnte. Unter den Begriff des „Lagerns“ wird die Aufbewahrung zur späteren unmittelbaren oder mittelbaren Nutzung im Sinne einer Verwendung oder Verwertung, Wiederverwertung, Abgabe, Entsorgung oder Beseitigung verstanden. Als untertägige Sachverhalte werden etwa die unter § 2 Abs. 2 Nr. 2 BBergG fallenden Anlagen zur unterirdischen behälterlosen Speicherung oder das unterirdische Speichern wassergefährdender Stoffe in Bodenschichten oder Kavernen genannt.<sup>75</sup> Seine Grenze findet der Anwendungsbereich jedoch bei der Verwendung von Einsatzstoffen in Ma-

---

<sup>73</sup> S/Z/D/K, WHG, § 49 Rn. 7.

<sup>74</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 48 Rn. 20.

<sup>75</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 48 Rn. 23.

schinen, Aggregaten oder Geräten sowie bei Stoffen, die sich im Arbeitsgang befinden. Genannt wird etwa der Treibstoff in den Tanks betriebsbereiter Fahrzeuge.<sup>76</sup> Die Verwendung des Wassers als Antriebsmittel für die Turbinen und Beförderungsgegenstand für die Pumpen spricht damit gegen ein „Lagern“ i.S. der §§ 62 f. wie auch des § 48 Abs. 2 S. 1 WHG. Das Pumpspeicherwerk erscheint als insgesamt zu beurteilende Anlage, bei der die (Zwischen-)Speicherung von Wasser lediglich dem Betriebszweck dient. Im Ergebnis ist damit eine Eignungsfeststellung nach §§ 62 f. WHG insoweit nicht erforderlich.

#### 2.1.3.5 Beeinträchtigung von Wasserschutzgebieten gem. §§ 51, 52 WHG

Sofern durch die Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks bestehende Wasserschutzgebiete berührt werden können, sind die Regelungen der §§ 51, 52 WHG sowie insbesondere die jeweilige Wasserschutzgebietsverordnung zu beachten.

Durch § 51 Abs. 1 WHG ist die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes im Wege der Rechtsverordnung geregelt. Wasserschutzgebiete sind zum Schutz der öffentlichen Wasserversorgung, zur Grundwasseranreicherung oder zur Vermeidung des schädlichen Abfließens von Niederschlagswasser sowie des Abschwemmens und Eintrags bestimmter Stoffe in Gewässer zulässig. In der entsprechenden Rechtsverordnung können gemäß § 52 Abs. 1 Nr. 1 WHG bestimmte Handlungen im ausgewiesenen Schutzgebiet verboten oder für nur eingeschränkt zulässig erklärt werden. Gemäß § 52 Abs. 1 Nr. 2 Buchst. a) WHG können grundstücksbezogene Handlungen, insbesondere die Grundstücksnutzung, geregelt werden. Über die Vorgaben der Schutzgebietsverordnung hinaus können gemäß § 52 Abs. 1 S. 1 WHG weitergehende Anforderungen auch durch behördliche Einzelfallentscheidungen festgelegt werden, um der zuständigen Behörde ein schnelles und flexibles Handeln zu ermöglichen.<sup>77</sup> Derartige Entscheidungen können gemäß § 52 Abs. 3 WHG auch außerhalb des Wasserschutzgebietes getroffen werden, wenn andernfalls der mit der Festsetzung des Wasserschutzgebietes verfolgte Zweck gefährdet wäre. Dementsprechend sind Wasserschutzgebiete bereits dann von Belang, wenn ein Pumpspeicherwerk nur in ihrer Nähe angesiedelt werden soll. Vorgaben in der Wasserschutzgebietsverordnung oder aufgrund behördlicher Entscheidung können die Zulässigkeit der Errichtung und des Betriebs eines untertägigen Pumpspeicherwerkes im Ergebnis erheblich berühren.

---

<sup>76</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 62 Rn. 21; Gößl in S/Z/D/K, WHG, § 19g WHG a.F. Rn. 57 f.

<sup>77</sup> Vgl. dazu Czychowski/Reinhardt, WHG, § 52 Rn. 41 f.; Berendes, WHG, § 52 Rn. 2.

Gemäß § 52 Abs. 1 S. 2 WHG kann die zuständige Behörde von Verboten bzw. Beschränkungen allerdings eine Befreiung erteilen, wenn der Schutzzweck nicht gefährdet wird oder überwiegende Gründe des Wohls der Allgemeinheit dies erfordern. Es handelt sich um eine Ermessensentscheidung der zuständigen Behörde. Eine Verpflichtung zur Befreiung ist nur vorgesehen, wenn dies zur Vermeidung unzumutbarer Beschränkungen des Eigentums erforderlich ist und der Schutzzweck des Wasserschutzgebietes hierdurch nicht gefährdet wird, § 52 Abs. 1 S. 3 WHG. An die Voraussetzungen einer positiven Ermessensentscheidung können strenge Maßstäbe angelegt werden. Insbesondere wird eine Ausnahmegenehmigung dann als ausgeschlossen angesehen, wenn eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nach den gegebenen Umständen und im Rahmen einer sachlich vertretbaren, auf konkreten Feststellungen beruhenden Prognose nicht von der Hand zu weisen ist.<sup>78</sup> Möglich bleibt nach § 52 Abs. 1 S. 2 WHG aber die Befreiung aufgrund überwiegender Gründe des Allgemeinwohls. Hier kommen etwa Belange des Straßen- oder Schienenverkehrs, des Bergbaus oder der Erholung in Betracht.<sup>79</sup> Grundsätzlich erscheint auch die Berücksichtigung von Belangen der Energieversorgung möglich. Eine Ausnahmegenehmigung dürfte nach dem bisherigen Verständnis der §§ 51, 52 WHG aber nur unter engen Voraussetzungen in Betracht kommen.

Inwieweit für ein unterirdisches Pumpspeicherwerk Einschränkungen aufgrund von Wasserschutzgebieten bestehen, ist danach aufgrund der einschlägigen Wasserschutzgebietsverordnung sowie den konkreten Umständen im Einzelfall zu beurteilen. Nähere Ausführungen finden sich unten im Zusammenhang mit den Modellbergwerken.

#### 2.1.3.6 Genehmigungspflichtiger Gewässerausbau gemäß §§ 67, 68 WHG

Gesondert genehmigungspflichtig ist gemäß § 68 WHG ein Gewässerausbau, d.h. die Herstellung, Beseitigung oder wesentliche Umgestaltung eines Gewässers oder seiner Ufer, vgl. § 67 Abs. 2 WHG. Die erforderliche Genehmigung wird insbesondere nicht durch etwaige wasserrechtliche Benutzungsgenehmigungen ersetzt, vgl. §§ 8, 9 Abs. 3 WHG.

---

<sup>78</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 52 Rn. 45.

<sup>79</sup> Berendes, WHG, § 52 Rn. 4.

Vielmehr entfällt umgekehrt, soweit Maßnahmen dem Gewässerausbau dienen, die Notwendigkeit einer Erlaubnis oder Bewilligung, da sie gemäß § 9 Abs. 3 WHG nicht als „Benutzungen“ des Gewässers gelten.<sup>80</sup>

Anerkanntermaßen wäre mit der Errichtung eines herkömmlichen Pumpspeicherwerks regelmäßig ein genehmigungspflichtiger (oberirdischer) Gewässerausbau gemäß § 68 WHG verbunden.<sup>81</sup> Im vorliegenden Zusammenhang ist zunächst zu prüfen, ob die §§ 67, 68 WHG auch für untertägige Sachverhalte in Betracht kommen. Sowohl in der vorigen als auch in der jetzigen Fassung des WHG wird zwischen oberirdischen Gewässern, Küstengewässern und dem Grundwasser unterschieden. Im Rahmen der Untersuchung, ob ein Gewässerausbau auch Grundwassertatbestände erfassen kann, ist zur besseren Einordnung zunächst auf § 31 WHG a.F., die Vorgängervorschrift zu § 68 WHG, einzugehen. Die regelmäßig bei der Errichtung eines Wasserkraftwerks einschlägige Vorschrift des § 31 WHG a.F. zum Gewässerausbau war systematisch unter den Vorschriften eingeordnet, welche nur für oberirdische Gewässer galten. Seine Anwendung auf Grundwassersachverhalte wie im Falle der Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerks war damit ausgeschlossen. Mit der Neufassung des WHG wurde § 68 WHG jedoch innerhalb der fortbestehenden Gesamtsystematik aus dem nur für oberirdische Gewässer geltenden Teil herausgenommen. Die Gesetzesbegründung zum neuen WHG verdeutlicht, dass eine Änderung der systematischen Stellung der Vorschrift zum Gewässerausbau bewusst und u.a. deswegen erfolgte, damit zukünftig auch der Ausbau von Küstengewässern eingeschlossen war.<sup>82</sup>

Eine gesetzgeberische Intention zur Einbeziehung von Grundwassersachverhalten geht hieraus jedoch nicht hervor. Gegen eine Einbeziehung von Grundwassersachverhalten unter § 68 WHG könnte sprechen, dass die Vorschriften nur punktuell zur früheren Rechtslage geändert wurden und nur der Ausbau von Küstengewässern ausdrücklich erwähnt wurde.<sup>83</sup> Zudem ist der Wortlaut mit der Bezugnahme auf „Ufer“ eher auf oberirdische Sachverhalte zugeschnitten. Auch erscheint ein Planfeststellungsverfahren im Hin-

---

<sup>80</sup> Vgl. etwa Czychowski/Reinhardt, WHG, § 9 Rn. 93 ff.

<sup>81</sup> Breuer (2006), S. 119, 353; Berendes, WHG, § 67 Rn. 5; bezüglich Talsperren: Czychowski/Reinhardt, WHG, § 67 Rn. 24, 28.

<sup>82</sup> BT-Drs. 16/12275, S. 72; vgl. auch Pape in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Vorb. WHG Rn. 53.

<sup>83</sup> BT-Drs. 16/12275, S. 72.

blick auf die Berührung von Naturschutzbelangen (Konzentrationswirkung) und die Öffentlichkeitsbeteiligung besonders für oberirdische Sachverhalte erforderlich.

Andererseits ist der in den §§ 67, 68 WHG gewählte Begriff „Gewässer“ der Oberbegriff für „oberirdische Gewässer“, „Küstengewässer“ und „Grundwasser“, wie sich aus § 2 Abs. 1 WHG ergibt. Damit wird nicht nach dem Bezug zu oberirdischen Gewässern oder Grundwasser unterschieden.<sup>84</sup> Auch der Umfang der Auswirkungen auf die Gewässer erscheint bei unter- und oberirdischen Pumpspeicherwerken vergleichbar. Zudem sind die Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft und die Umweltauswirkungen auch bei einem untertägigen Pumpspeicherwerk im Hinblick auf mögliche Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit und seiner mengenmäßigen Verteilung von erheblichem Gewicht. Jedenfalls bei erheblichen und dauerhaften Einwirkungen auf einen Grundwasserkörper, z.B. im Rahmen der bergbaulichen Grundwasserhaltung, wird daher ein Gewässerausbau i.S.v. §§ 67, 68 WHG nach der Neufassung für möglich gehalten.<sup>85</sup> Im Ergebnis erscheint die grundsätzliche Anwendbarkeit der Vorschriften zum Gewässerausbau auf Grundwassersachverhalte vorzugswürdig.

Da die Speicherbecken nach der oben dargestellten Auffassung nicht selbst als „Gewässer“ im Sinne des WHG anzusehen sind, kann der „Gewässerausbau“ i.S.v. §§ 67, 68 WHG allerdings nur an die Auswirkungen auf vorhandene Gewässer anknüpfen. Bei der Errichtung untertägiger Pumpspeicherwerke kommt die „wesentliche Umgestaltung“ eines vorhandenen Gewässers in Betracht, nämlich des Grundwassers. Der Begriff „wesentlich“ verlangt hierbei, dass die Umgestaltung den Zustand des Gewässers auf Dauer in einer für den Wasserhaushalt oder in sonstiger Hinsicht bedeutsamen Weise ändert und es deshalb für sie einer Planfeststellung bedarf.<sup>86</sup> Es muss ein neuer Dauerzustand mit nicht nur unerheblichen Veränderungen für den Wasserhaushalt geschaffen werden.<sup>87</sup> Hiervon kann bei einer deutlichen Absenkung des Grundwasserspiegels, wie sie bei untertägigen Pumpspeicherwerken regelmäßig zu erwarten ist, ausgegangen werden. In diesem Sinne wird bei erheblichen und dauerhaften Einwirkungen auf einen Grundwasserkörper, z.B. im Rahmen der bergbaulichen Grundwasserhaltung, ein Gewässerausbau i.S.v. §§ 67, 68

---

<sup>84</sup> Für Einbeziehung von Grundwassersachverhalten, wenn auch unter Hinweis auf untergeordnete praktische Bedeutung, auch Czychowski/Reinhardt, WHG, § 67 Rn. 22.

<sup>85</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 67 Rn. 22.

<sup>86</sup> Vgl. etwa Czychowski/Reinhardt, WHG, § 67 Rn. 30; OVG Schleswig, ZfW 1998, 509 f.

<sup>87</sup> Berendes, WHG, § 67 Rn. 4. Vgl. auch § 67 Abs. 2 S. 2 WHG für die Herstellung von Gewässern.



WHG für möglich gehalten; unklar ist allerdings, ob dies nur gelten soll, wenn zugleich oberirdische Gewässer ausgebaut werden.<sup>88</sup>

Im Ergebnis kann die Annahme eines Gewässerausbaus in Form der Grundwasserhaltung damit zwar nicht als gesichert angesehen werden, erscheint aber naheliegend. Auf dieser Grundlage sind Genehmigungen nach § 9 Abs. 3 S. 1 WHG für solche Gewässerbenutzungen nicht erforderlich, die dem Gewässerausbau dienen. Dies betrifft insbesondere das Zutagefördern, Zutageleiten oder Ableiten des Grundwassers gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG zur Wasserhaltung. Umfasst sein dürfte gleichzeitig das Einleiten dieses Wassers in ein oberirdisches Gewässer oder ggf. in Grundwasser (Wasserlösungsstollen).

Sollten entgegen der oben dargestellten Auffassung auch die Speicherbecken selbst dem Grundwasser zugeordnet werden, so wäre zudem von der „Herstellung“ eines Gewässers auszugehen. Damit würden wasserrechtliche Gestattungen nach § 9 WHG noch in weiterem Umfang entfallen. Dies gilt insbesondere für das Entnehmen oder Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 1 WHG bzw. von Grundwasser gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG zur Befüllung der Speicherbecken sowie für das Aufstauen von Grundwasser nach § 9 Abs. 2 Nr. 1 WHG. Schließlich dürfte bei diesem Verständnis auch das Zutagefördern, Zutageleiten oder Ableiten überschüssigen Wassers aus den Speicherbecken nach § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG von dem Gewässerausbau umfasst werden. Wird ein Gewässerausbau bejaht, müssen die materiellen Anforderungen der §§ 67 Abs. 1, 68 Abs. 3 WHG beachtet werden. Diese sind primär auf den Ausbau oberirdischer Gewässer zugeschnitten. Letztlich gilt allgemein, dass alle sonstigen Anforderungen nach dem WHG oder sonstigen öffentlich-rechtlichen Vorschriften erfüllt sein müssen, § 68 Abs. 3 Nr. 2 WHG, und dass eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit nicht zu erwarten sein darf, § 68 Abs. 3 Nr. 1 WHG.

#### **2.1.4 Baurecht**

Sofern ein untertägiges Pumpspeicherwerk als bauliche Anlage im Sinne der Landesbauordnungen angesehen werden kann, wäre grundsätzlich eine Baugenehmigung notwendig. Die Baugenehmigung ist zu erteilen, soweit sie dem öffentlichen Baurecht entspricht,

---

<sup>88</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 67 Rn. 22, wo es zugleich heißt, dass ein oberirdisches Gewässer entstehen müsse. Vgl. auch Berendes, WHG, § 9 Rn. 18: Das Absenken des Grundwasserspiegels kann einem Gewässerausbau dienen.



insbesondere also die bauordnungsrechtlichen, aber auch die bauplanungsrechtlichen Vorgaben erfüllt sind.

#### 2.1.4.1 Bauordnungsrecht

Der Anwendungsbereich des Bauordnungsrechts ist eröffnet, wenn es sich bei einem untertägigen Pumpspeicherwerk um eine „bauliche Anlage“ handelt. Nach den Landesbauordnungen handelt es sich bei baulichen Anlagen einhellig um „mit dem Erdboden verbundene oder auf ihm ruhende, aus Bauprodukten hergestellte Anlagen“. Daher könnten vorliegend Zweifel angebracht sein, ob eine untertägige Anlage unter diese Begriffsdefinition zu fassen ist.

Teilweise sind explizite Regelungen vorhanden, die unterirdische Hohlräume den baulichen Anlagen gleichstellen und damit dem Bauordnungsrecht unterstellen.<sup>89</sup> Hier dürfte eine Anwendbarkeit des Bauordnungsrechts auch auf unterirdische künstliche Hohlräume schon dem Wortlaut nach gegeben sein.

Andere Landesbauordnungen enthalten zwar keinen expliziten Hinweis auf unterirdische Hohlräume. In einigen Landesbauordnungen finden sich jedoch Hinweise auf die Erfassung auch untertägiger Sachverhalte im Rahmen der Einteilung der Gebäudearten in bestimmte Gebäudeklassen, da eine Kategorie explizit unterirdische Gebäude erfasst.<sup>90</sup> In Bayern ist dabei beispielsweise unerheblich, ob die bauliche Anlage oberirdisch, unterirdisch, teils oberirdisch oder teils unterirdisch liegt. Somit werden auch die sog. Tiefbauten wie unterirdische Tunnels, Kanäle und Stollen, zu baulichen Anlagen gezählt.<sup>91</sup> In Hessen wurde auf eine Fiktion von unterirdischen Hohlräumen als bauliche Anlagen verzichtet, da diese schon den baulichen Anlagen zugeordnet werden.<sup>92</sup>

In allen Bauordnungen sind zudem Vorschriften vorhanden, nach denen das Baurecht zugunsten des Bergrechts ausgeschlossen ist, falls es sich um Anlagen handelt, die unter

---

<sup>89</sup> In folgenden Landesbauordnungen werden künstliche Hohlräume unter der Erdoberfläche explizit erfasst und einer baulichen Anlage gleichgestellt: § 2 Abs. 1 S. 2 Nr. 4 NBauO, § 2 Abs. 1 Nr. 5 LBO S-H, § 2 Abs. 2 S. 2 Nr. 6 ThürBO sowie § 2 Abs. 1 Nr. 7 BbgBO.

<sup>90</sup> § 2 Abs. 4 Nr. 5 LBO B-W, Art. 2 Abs. 4 Nr. 5 BayBO, § 2 Abs. 3 Nr. 5 BauOBln, § 2 Abs. 3 Nr. 5 HBauO, § 2 Abs. 3 Nr. 5 LBauO M-V, § 2 Abs. 3 Nr. 5 LBO Saarl., § 2 Abs. 3 Nr. 5 SächsBO, § 2 Abs. 3 Nr. 5 BauO LSA.

<sup>91</sup> Simon/Busse, BayBO, Band I, Art. 2 Rn. 65, 79.

<sup>92</sup> Vgl. § 2 Abs. 1 S. 3 Nr. 1 HBO 1993; Umkehrschluss aus Hornmann, HBO, § 2 Rn. 18 sowie Rn. 6

die Aufsicht der Bergbehörde fallen.<sup>93</sup> Hintergrund ist, dass hier der baurechtliche Anwendungsbereich bewusst zugunsten der fachrechtlich näheren Bergbehörde beschränkt worden ist. Diese Ausschlussklauseln erfassen allerdings nur Anlagen, welche die in § 2 Abs. 1, 2 und 4 BBergG aufgeführten Handlungen betreffen. Dies legt nahe, dass neben den oberirdischen Gebäuden auch untertägige Anlagen grundsätzlich als bauliche Anlagen angesehen werden können.

Zudem handelt es sich bei dem Bauordnungsrecht um Gefahrenabwehrrecht. Um möglichst viele Gefahrenquellen zu erfassen, wird der Begriff der Anlage weit verstanden um diejenigen Anlagen einzuschließen, von denen die für Bauwerke typischen Gefahren ausgehen können.<sup>94</sup>

Somit liegt es auch für die Landesbauordnungen, die keine ausdrückliche Regelung enthalten, aus systematischen wie teleologischen Gründen nahe, auch untertägige Pumpspeicherwerke einer baulichen Anlage zumindest gleichzustellen mit der Folge, dass für den Bau eine Baugenehmigung nach der jeweiligen Landesbauordnung einzuholen ist. Hinsichtlich eines untertägigen Pumpspeicherwerks als atypischem baurechtlichem Anwendungsfall sind die bauordnungsrechtlichen Genehmigungskriterien ggf. entsprechend anzuwenden, um der gefahrenabwehrrechtlichen Funktion der Landesbauordnungen zu genügen. Unter anderem muss die jeweilige Anlage insgesamt den Vorgaben zur Standsicherheit, zum Brandschutz und zum Erschütterungsschutz genügen sowie Schutz gegen schädliche Einflüsse, beispielsweise elektromagnetische Felder<sup>95</sup>, bieten. Zum Schutz der beschäftigten Mitarbeiter besteht zudem eine öffentlich-rechtliche Pflicht zur Sicherung der Verkehrssicherheit der Anlage. Zudem sind insbesondere die Vorschriften zur Betriebssicherheit von Lüftungsanlagen und Installationsschächten, beispielsweise zur ordnungsgemäßen Belüftung der untertägigen Anlage, zu beachten.

---

<sup>93</sup> Zumeist finden sich entsprechende Begrenzungen des Anwendungsbereichs der jeweiligen Landesbauordnung in § 1 Abs. 2.

<sup>94</sup> So z.B. für Niedersachsen: Große-Suchsdorf, NBauO, § 2 Rn. 6.

<sup>95</sup> Immissionsschutzrechtliche Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch hoch- bzw. niederfrequente elektromagnetische Felder von bestimmten Anlagen enthält dabei die 26. BImSchV; vgl. Gädtke et al., BauO NRW, § 16 Rn. 24ff.,

#### 2.1.4.2 Bauplanungsrecht

Die bauplanungsrechtlichen Zulässigkeitsanforderungen der §§ 29ff. BauGB sind zu beachten, wenn es sich um Vorhaben handelt, die die Errichtung, Änderung oder Nutzungsänderung von baulichen Anlagen zum Gegenstand haben, sowie für Aufschüttungen, Abgrabungen, Ausschachtungen und Ablagerungen. Hierbei ist der Begriff der baulichen Anlage nicht deckungsgleich mit demjenigen des Bauordnungsrechts.

Der bundesrechtliche Begriff der baulichen Anlage setzt sich nach der Rechtsprechung des BVerfG aus zwei Elementen zusammen, nämlich einen verhältnismäßig weiten Begriff des Bauens und einem einschränkenden Merkmal (möglicher) bodenrechtlicher Relevanz. Hinsichtlich unterirdischer Anlagen ist schon fraglich, ob diese unter den Begriff des Bauens zu fassen sind, da der bundesrechtliche Begriff der baulichen Anlage als künstliche Verbindung mit dem Erdboden verstanden wird. Zudem ist für die Annahme einer bodenrechtlichen Relevanz entscheidend, ob das Vorhaben die in § 1 Abs. 5 und 6 BauGB genannten Belange in einer Weise berühren kann, die geeignet ist, das Bedürfnis nach einer ihre Zulässigkeit regelnden verbindlichen Bauleitplanung hervorzurufen und damit städtebaulich erheblich ist, um in einem Bebauungsplan nach § 9 BauGB erfasst zu werden.<sup>96</sup> Die bodenrechtliche Relevanz erscheint bei unterirdischen Sachverhalten sehr eingeschränkt. Vielmehr regelt das Bauplanungsrecht die flächenbezogenen Anforderungen an ein Bauvorhaben, welche sich daraus ergeben, dass sich dieses in die städtebauliche Ordnung seiner Umgebung einfügen soll.<sup>97</sup> So werden auch unterirdische Leitungen nur und erst aufgrund der expliziten Aufnahme in § 9 Abs. 1 Nr. 13 BauGB erfasst, während dies im Rahmen voriger Gesetzesfassungen verneint wurde.<sup>98</sup>

Auf dieser Grundlage dürften untertägige Anlagen eines Pumpspeicherwerkes grundsätzlich nicht bauplanungsrechtlich relevant sein, auch wenn dieses zu energiewirtschaftlicher Versorgungssicherheit beiträgt und damit einen Belang i.S.v. § 1 Abs. 6 Nr. 8e BauGB

---

<sup>96</sup> Jäde et al., BauGB und BauNVO, § 29 Rn. 7, 14; BVerwGE 44, 59 (62). Dies könnte gemäß § 9 BauGB u.a. für Versorgungsflächen (Abs. 1 Nr. 12) sowie die Führung von Versorgungsanlagen bzw. -leitungen (Abs. 1 Nr. 13) zutreffen, vgl. Battis/Krautzberger/Löhr, BauGB, § 1 Rn. 73 sowie § 9 Rn. 52, wobei auch beispielsweise Pumpen und Schächten „Leitungscharakter“ beigemessen wird.

<sup>97</sup> Hoppe/Bönker/Grotefels, S. 3.

<sup>98</sup> W. Schrödter in: Schrödter, BauGB, § 9 Rn. 69.

darstellt. Lediglich Schachtanlagen als teilweise untertägige Anlagen könnten ggf. als Ausschachtungen i.S.d. § 29 Abs. 1 BauGB angesehen werden.<sup>99</sup>

Neben der untertägigen Anlagen werden nach derzeitigem Stand voraussichtlich auch übertägige Gebäude sowie ggf. Halden für Aushubmaterial zum Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks notwendig. Diese könnten je nach Größe als bodenrechtlich relevante Anlagen<sup>100</sup> einzustufen sein, so dass die bauplanungsrechtlichen Vorschriften hierfür ggf. zu beachten wären. Gleiches gilt für die Netzanbindung. Je nach Standort im Einzelfall ist die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit bei Vorliegen eines Bebauungsplans nach § 30 BauGB, ansonsten je nach Standort im Innen- bzw. Außenbereich nach § 34 oder § 35 BauGB zu prüfen.

Hinsichtlich eines Standorts im Rahmen eines Bebauungsplans gemäß § 30 Abs. 1 BauGB ist dabei insbesondere zu untersuchen, ob das Vorhaben mit dem jeweiligen Baugebiet i.S.d. BauNVO vereinbar ist, sofern entsprechende Baugebiete im jeweiligen Bebauungsplan festgelegt worden sind. Aufgrund der Art des Vorhabens und entsprechender Rechtsprechung zur Lage von herkömmlichen Wasserkraftwerken<sup>101</sup> erscheint eine Platzierung mindestens in einem Gewerbegebiet i.S.d. § 8 BauNVO möglich. Allerdings muss jeweils eine Prüfung i.S.d. § 15 BauNVO erfolgen, ob die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit im entsprechenden, grundsätzlich für das Vorhaben einschlägigen Baugebiet auch im Einzelfall gegeben ist.

Insbesondere der nicht unbeträchtliche oberirdische Flächenverbrauch<sup>102</sup> im Rahmen eines untertägigen Pumpspeicherwerks lässt eine bauplanungsrechtliche Zulässigkeit im unbeplanten Innenbereich gemäß § 34 BauGB als unwahrscheinlich erscheinen, da durch ein solches Vorhaben unter anderem das Ortsbild, welches gemäß § 34 Abs. 1 S. 2 Hs. 2 BauGB nicht beeinträchtigt werden darf, erheblich beeinflusst werden dürfte.

Hingegen dürfte eine entsprechende Anlage im Außenbereich gemäß § 35 BauGB grundsätzlich realisierbar sein. Zwar soll der Außenbereich grundsätzlich von jeder Bebauung

---

<sup>99</sup> Gelzer/Bracher/Reidt, Rn. 1128, 1130. In der Regel werden jedoch hierunter Ausschachtungen gefasst, die Bauvorhaben vorbereiten.

<sup>100</sup> Rieger in: Schrödter, BauGB, § 29 Rn. 21.

<sup>101</sup> Sowohl in der Entscheidung des VG Göttingen vom 28.8.2003 (AZ 4 A 4163/01; zitiert nach Juris) als auch des BayVGH (in BayVGH, ZfBR 2008, 598) sind Hinweise der Verortung eines Wasserkraftwerks in einem Gewerbegebiet dargelegt.

freigehalten werden. Eine Wasserkraftanlage stellt allerdings ein privilegiertes Vorhaben gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 5 BauGB dar. Ein solches ist zulässig, sofern öffentliche Belange nicht entgegenstehen sowie die ausreichende Erschließung gesichert ist. Hinsichtlich einer etwaigen Aufhaldung könnte zudem eine Privilegierung nach § 35 Abs. 1 Nr. 4 BauGB angenommen werden, da ein solches Vorhaben wegen seiner besonderen Anforderungen an die Umgebung und seiner besonderen Zweckbestimmung nur im Außenbereich vorgenommen werden sollte.

Abschließend ist zu bemerken, dass gemäß § 38 BauGB der Frage Bedeutung zukommt, ob ein Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren als einschlägiges Genehmigungsverfahren für den Bau und Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks angenommen wird (dazu unten 2.2.1) und dem Vorhaben überörtliche Bedeutung zukommt. Ist dies der Fall, wäre eine strikte Prüfung der §§ 29ff. BauGB nicht vorzunehmen, sondern die städtebaulichen Belange wären in der Gesamtabwägung im Rahmen des Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahrens zu berücksichtigen.

### **2.1.5            Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht**

Sofern hinsichtlich der Verwendung des anfallenden Gesteinsaushubs keine bloße Lagerung (vgl. oben 2.1.1.3.2), sondern eine endgültige Aufhaldung („Ablagerung“) angestrebt wird, so könnte eine Deponie vorliegen. Für die Errichtung bzw. den Betrieb einer Deponie ist gemäß § 31 Abs. 2, 3 KrW-/AbfG eine Planfeststellung bzw. Plangenehmigung notwendig. Eine obertägige Deponie ist nach § 3 Abs. 10 S. 1 KrW-/AbfG eine Beseitigungsanlage zur Ablagerung von Abfällen oberhalb der Erdoberfläche. Zu den Deponien zählen dabei gemäß § 3 Abs. 10 S. 2 KrW-/AbfG auch betriebsinterne Abfallbeseitigungsanlagen für die Ablagerung von Abfällen, in denen ein Abfallerzeuger die Abfallbeseitigung am Erzeugungsort vornimmt. Das Vorliegen von „Abfall“ i.S.d. § 3 Abs. 1 bis 4 KrW-/AbfG ist dabei vorliegend unter Rückgriff auf die Ausführungen zum Immissionsschutzrecht für den anfallenden Gesteinsaushub regelmäßig zu bejahen (siehe oben 2.1.1.3.1.2). Dessen Aufhaldung zum Zwecke der Ablagerung wäre daher als Deponie genehmigungspflichtig.

---

<sup>102</sup> In der Betriebsphase wird nach bergbaulichen Angaben eine Fläche von bis zu 1 ha benötigt. Der Raumbedarf für eine ggf. anzulegende oder zu erweiternde Halde ist hierin nicht enthalten.

Materiell-rechtlich wären im Falle einer Deponie insbesondere die Voraussetzungen des § 32 KrW-/AbfG zu beachten. Danach muss u.a. sichergestellt werden, dass das Allgemeinwohl nicht beeinträchtigt wird, insbesondere Gefahren für die in § 10 Abs. 4 KrW-/AbfG genannten Schutzgüter nicht hervorgerufen werden können und Vorsorge gegen die Beeinträchtigungen dieser Schutzgüter entsprechend dem Stand der Technik getroffen wird. Die für Errichtung, Leitung oder Beaufsichtigung des Betriebes der Deponie verantwortlichen Personen müssen zuverlässig sein und über die erforderliche Fach- und Sachkunde verfügen. Grundsätzlich dürfen auch keine nachteiligen Wirkungen auf das Recht eines anderen zu erwarten sein. Für verbindlich erklärte Feststellungen eines Abfallwirtschaftsplanes dürfen dem Vorhaben nicht entgegenstehen.

#### **2.1.6            Energiewirtschaftsrecht**

Eine Genehmigungspflicht kann sich auch hinsichtlich der Netzanbindung ergeben. Gemäß § 43 S. 1 Nr. 1 EnWG bedürfen Hochspannungsfreileitungen mit einer Nennspannung von mindestens 110 kV der Planfeststellung. Hierbei sind in einem Verfahren sämtliche materiellen Anforderungen an die Zulässigkeit der Leitung zu prüfen (zum Planfeststellungsverfahren unten 2.2.1.1.4).

Soweit die Netzanbindung als Erdleitung ausgeführt wird, ist ein Planfeststellungsverfahren bundesrechtlich nur in besonderen Ausnahmefällen vorgesehen, die für untertägige Pumpspeicherwerke nicht relevant sein dürften, vgl. § 43 S. 1 Nr. 3 und 4 sowie S. 3 EnWG, § 2 Abs. 3 Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG). Das niedersächsische Erdkabelgesetz aus dem Jahr 2007, das unter bestimmten Voraussetzungen ein fakultatives Planfeststellungsverfahren für Hochspannungsleitungen vorsieht<sup>103</sup>, ist durch die angesprochene Fassung des § 43 EnWG und das EnLAG aus dem Jahr 2009 überlagert und damit unanwendbar geworden. Im Übrigen galt es ohnehin nur für Hochspannungsleitungen mit einer Nennspannung von mehr als 110 kV, nicht also für die im Zusammenhang mit untertägigen Pumpspeicherwerken wesentlichen 110 kV-Leitungen. Für Erdleitungen sind etwa erforderliche Genehmigungen, z.B. nach Naturschutz- oder Wasserrecht, daher in gesonderten Verfahren einzuholen.

---

<sup>103</sup> Niedersächsisches Gesetz über die Planfeststellung für Hochspannungsleitungen in der Erde (Niedersächsisches Erdkabelgesetz) v. 13.12.2007, Nds. GVBl. Nr. 40/2007 S. 709.

### **2.1.7 Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung**

Für die in Anlage 1 UVPG aufgeführten Vorhaben ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen bzw. deren Notwendigkeit jedenfalls zu prüfen. Die Umweltverträglichkeitsprüfung ist dabei in der Regel nicht Gegenstand eines eigenständigen Genehmigungsverfahrens, sondern unselbständiger Teil eines anderweitigen genehmigungsrechtlichen Verwaltungsverfahrens, wie § 2 Abs. 1 S. 1 UVPG klarstellt. Das bedeutet umgekehrt jedoch auch, dass im Falle der UVP-Pflichtigkeit eines Vorhabens ein Genehmigungsverfahren durchgeführt werden muss. Für bestimmte Vorhaben sieht § 20 UVPG zudem explizit ein Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahren vor.

#### **2.1.7.1 Vorhaben nach Anlage 1 UVPG**

Für wesentliche Teile eines untertägigen Pumpspeicherwerks ist gemäß der enumerativen Auflistung in Anlage 1 UVPG zumindest zu prüfen, ob die Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung – und damit eines Genehmigungsverfahrens – besteht. Dies gilt zunächst für Errichtung und Betrieb einer Wasserkraftanlage (Nr. 13.14) sowie für das Entnehmen, Zutagefördern oder Zutageleiten von Grundwasser (Nr. 13.3), wobei das jährliche Mindestvolumen von 5000 m<sup>3</sup> sicher überschritten werden dürfte.

Hinsichtlich der Speicherbecken könnte entweder der Bau eines Stauwerkes oder einer sonstigen Anlage zur Zurückhaltung oder dauerhaften Speicherung von Wasser (Nr. 13.6) oder die Errichtung und der Betrieb eines künstlichen Wasserspeichers mit mindestens 5000 m<sup>3</sup> und bis zu 10 Mio. m<sup>3</sup> und mehr Wasser (Nr. 19.9) angenommen werden. Wie noch näher auszuführen (unten 2.1.7.3), liegt es nahe zur Abgrenzung darauf abzustellen, ob die Errichtung der Speicherbecken einen Gewässerausbau i.S.v. §§ 67, 68 WHG darstellt. Dies ist nach der oben dargestellten Auffassung zu verneinen. Daher liegt es nahe, untertägige Pumpspeicherbecken als „künstliche Wasserspeicher“ i.S.v. Nr. 19.9 Anlage 1 UVPG und nicht als „Stauwerke oder sonstige Anlagen zur Zurückhaltung oder dauerhaften Speicherung von Wasser“ i.S.v. Nr. 13.6 Anlage 1 UVPG einzuordnen. Dies führt zur Anwendbarkeit des Planfeststellungsverfahrens nach § 20 UVPG i.V.m. Nr. 19.9 UVPG. Anderes würde gelten, wenn nicht nur die Einrichtung einer Grundwasserhaltung, sondern auch die Errichtung der Pumpspeicherbecken als Gewässerausbau i.S.v. § 67 WHG angesehen und daher ein wasserrechtliches Planfeststellungsverfahren auch insoweit bejaht werden sollte.



Anlage 1 UVPG erfasst weiterhin Errichtung und Betrieb einer etwaigen Hochspannungsfreileitung ab 110 kV (Nr. 19.1). Demgegenüber ist eine UVP-Pflicht für Erdleitungen nicht vorgesehen. Aufgrund der vorgesehenen Leistung der Pumpspeicherwerke wäre die Spannungsebene von 110 kV jedenfalls gegeben. Erfasst würden darüber hinaus ggf. Errichtung und Betrieb einer etwaigen gemeindegebietsüberschreitenden Wasserfernleitung ab 2 km Länge (Nr. 19.8).

Eine etwaige Aufhaldung von Aushubmaterial kann zudem als Errichtung und Betrieb einer Anlage zur Lagerung von Abfällen (Nr. 8.9) oder einer Deponie (Nr. 12) einzuordnen sein, je nachdem ob eine vorübergehende Lagerung oder endgültige Ablagerung stattfindet.

#### 2.1.7.2 UVP-Pflichtigkeit

Aus der Aufnahme in Anlage 1 UVPG folgt nicht notwendig die Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Vielmehr unterscheidet das UVPG zwischen Vorhaben, für die eine Umweltverträglichkeitsprüfung zwingend durchzuführen ist, und solchen, für die eine allgemeine oder standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls dahingehend vorzunehmen ist, ob eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich ist.

Eine zwingende UVP ist für die oben genannten Vorhaben größtenteils ausgeschlossen. Für Wasserkraftanlagen, für eine Netzanbindung auf 110 kV-Ebene oder für eine etwaige Wasserfernleitung ist sie von vornherein nicht vorgesehen (Nr. 13.14, Nr. 19.1 und Nr. 19.8). In anderen Fällen werden die hierfür notwendigen Schwellenwerte bei der Größe der Speicherbecken bzw. der Wasserentnahme oder –einleitung keinesfalls erreicht (Nr. 13.6 bzw. Nr. 19.9, Nr. 13.3). Demgegenüber ist für eine Netzanbindung durch Hochspannungsfreileitung mit mehr als 110-kV und einer Länge von mehr als 15 km eine Umweltverträglichkeitsprüfung zwingend vorgeschrieben (Nr. 19.1.1) und die Erfüllung dieser Voraussetzungen grundsätzlich denkbar (vgl. Teilbericht Energiesystemtechnik). In Betracht kommt eine zwingende Umweltverträglichkeitsprüfung darüber hinaus für eine etwaige Aufhaldung des Gesteinsaushubs. Bei langfristiger Lagerung (mehr als ein Jahr) ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung nur im Falle von gefährlichen Abfällen und nur bei einer Aufnahmekapazität von mindestens 10 Tonnen pro Tag oder einer Gesamtkapazität von mindestens 150 Tonnen zwingend (Nr. 8.9.1.1). Bei dauerhafter Ablagerung (Deponie) ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung im Falle von gefährlichen Abfällen stets

zwingend (Nr. 12.1), bei nicht gefährlichen Abfällen nur im Falle einer Aufnahmekapazität von mindestens 10 Tonnen pro Tag oder einer Gesamtkapazität von mindestens 25.000 Tonnen (Nr. 12.2.1).

Soweit danach nur eine Pflicht zur allgemeinen oder standortbezogenen Vorprüfung nach § 3c UVPG besteht, ist zu prüfen, inwieweit das Vorhaben unter Bezugnahme auf die Kriterien der Anlage 2 UVPG nach Einschätzung der zuständigen Behörde aufgrund überschlägiger Prüfung erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen haben kann. Dabei sind nach Nr. 1 Anlage 2 UVPG vorhabenbezogene Kriterien wie die Größe des Vorhabens sowie die Nutzung bzw. Gestaltung von Umweltressourcen von Bedeutung. Daneben sind gemäß Nr. 2 Anlage 2 UVPG standortbezogene Faktoren zu beachten, unter anderem die besondere ökologische Empfindlichkeit eines Gebietes, das durch das Vorhaben möglicherweise beeinträchtigt wird. Schließlich sind die möglichen Auswirkungen des Vorhabens nach Nr. 3 Anlage 2 UVPG zu beurteilen. Zu beachten ist, dass der Katalog der Anlage 2 UVPG als nicht abschließend angesehen werden muss. Bei positivem Ergebnis der Vorprüfung (d.h. erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen sind möglich), ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen. Die UVP-Pflichtigkeit lässt sich daher nur im Einzelfall ermitteln.

Ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen, so muss diese die unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen ermitteln, beschreiben und bewerten, die das Vorhaben auf Menschen, Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt, auf Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft sowie auf Kulturgüter und sonstige Sachgüter hat, einschließlich der Wechselwirkungen zwischen den genannten Schutzgütern. Die Umweltverträglichkeitsprüfung wird in der Regel im Rahmen eines anderweitig geregelten Genehmigungsverfahrens durchgeführt, z.B. nach Baurecht oder Wasserrecht. Für die in Nr. 19.3 bis 19.9 Anlage 1 UVPG geregelten Sachverhalte hingegen sieht § 20 Abs. 1 UVPG selbst ein Planfeststellungsverfahren vor, soweit die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung verpflichtend ist.

#### 2.1.7.3 Genehmigungspflicht nach § 20 UVPG

Die Umweltverträglichkeitsprüfung ist regelmäßig unselbständiger Teil eines anderweitigen genehmigungsrechtlichen Verwaltungsverfahrens, § 2 Abs. 1 S. 1 UVPG. Das bedeutet umgekehrt jedoch auch, dass im Falle der UVP-Pflichtigkeit eines Vorhabens ein Geneh-

migungsverfahren durchgeführt werden muss. Insoweit sieht § 20 Abs. 1 UVPG für Vorhaben nach Nr. 19.3 bis 19.9 Anlage 1 UVPG, für die ein anderweitiges (geeignetes) Trägerverfahren möglicherweise nicht zur Verfügung steht, selbst die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens vor.<sup>104</sup> Selbst wenn eine Umweltverträglichkeitsprüfung nicht verpflichtend ist, schreibt § 20 Abs. 2 UVPG für diese Vorhaben regelmäßig zumindest die Durchführung einer Plangenehmigungsverfahrens vor.

Im Ergebnis begründet § 20 UVPG, unabhängig vom Bestehen einer UVP-Pflicht und unabhängig von der Verfügbarkeit eines anderweitigen Trägerverfahrens, für die in Nr. 19.3 bis 19.9 Anlage 1 UVPG aufgeführten Vorhaben eine eigenständige Pflicht zur Durchführung eines Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahrens. Die gesetzgeberische Verortung im UVPG wird teilweise kritisch gesehen, da es an einem hinreichenden Bezug zum Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung fehle.<sup>105</sup> Die Vorschrift soll aber offenbar sicherstellen, wie auch der Infrastrukturcharakter der in Nr. 19.3 bis 19.9 Anlage 1 UVPG aufgeführten Anlagen zeigt, dass für Infrastruktur-Großvorhaben ein Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren zur Verfügung steht. Dies entspricht dem verwaltungsrechtlichen Grundansatz, für derartige komplexe Vorhaben ein konzentriertes Genehmigungsverfahren zur Verfügung zu stellen.<sup>106</sup>

Die Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungspflicht nach § 20 UVPG kann im Zusammenhang mit unterirdischen Pumpspeicherwerken insbesondere für die Errichtung der Speicherbecken Bedeutung gewinnen, wenn diese Nr. 19.9 Anlage 1 UVPG unterfallen. Dann müsste es sich um „Errichtung und Betrieb eines künstlichen Wasserspeichers“ mit mindestens 5.000 m<sup>3</sup> Wasser und bis zu 10 Mio. m<sup>3</sup> und mehr Wasser handeln. Diese Einnordnung ist für Speicherbecken eines untertägigen Pumpspeicherwerkes grundsätzlich denkbar, die Größenanforderungen wären unproblematisch erfüllt. Allerdings muss eine Abgrenzung gegenüber Nr. 13.6 Anlage 1 UVPG vorgenommen werden, also dem „Bau eines Stauwerkes oder einer sonstigen Anlage zur Zurückhaltung oder dauerhaften Speicherung von Wasser“. Auf derartige Vorhaben findet § 20 UVPG keine Anwendung.

Zu dieser Abgrenzung finden sich wenig ausdrückliche Hinweise. Die Gesetzesbegründung zu Nr. 19.9 Anlage 1 UVPG führt allerdings aus, dass die von Nr. 19.9 erfassten künstlichen Wasserspeicher entweder der Stromerzeugung dienen oder im Rahmen fab-

---

<sup>104</sup> BT-Drs. 14/4599, S. 66; Hoppe, UVPG, § 20 Rn. 3.

<sup>105</sup> Hoppe, UVPG, § 20 Rn. 8 mit weiteren Nachweisen.

rikmäßiger Produktion von Bedeutung sind.<sup>107</sup> Dies stützt zunächst die Anwendbarkeit im Falle eines untertägigen Pumpspeicherwerkes. Gegen eine Anwendung könnte allerdings sprechen, dass künstliche Wasserspeicher nach der weiteren Gesetzesbegründung keine Verbindung mit natürlichen Gewässern aufweisen und auch im Falle eines Auslaufens von Wasser regelmäßig keine Beeinträchtigung des Wasserhaushalts zu besorgen ist.<sup>108</sup> Bei einem untertägigen Pumpspeicherwerk handelt es sich jedoch nicht um ein physisch geschlossenes System, da in erheblichem Umfang ein Wasseraustausch mit der Umgebung stattfindet (vgl. oben 2.1.3.1.2.1).

Im Ergebnis muss die Entscheidung über die Anwendbarkeit des § 20 UVPG i.V.m. Nr. 19.9 Anlage 1 UVPG im Zusammenhang mit dem wasserrechtlichen Planfeststellungsverfahren nach §§ 67, 68 WHG (dazu oben 2.1.3.6) gesehen werden. Die Einführung der Nr. 19.9 Anlage 1 UVPG diene der Umsetzung der Vorgaben nach Nr. 15 des Anhangs I und Nr. 10 g) des Anhangs II der UVP-Richtlinie 85/337/EWG.<sup>109</sup> Nach der Begründung zu Nr. 19.9 unterscheiden diese Vorschriften nicht zwischen Gewässerausbauten mit dem Zweck der Wasserspeicherung und der Errichtung künstlicher Wasserspeicher ohne Gewässerausbau, die im WHG nicht regelbar seien.<sup>110</sup> Für Maßnahmen des Gewässerausbaus wird Nr. 13.6 Anlage 1 UVPG als anwendbar angesehen und insbesondere darauf hingewiesen, dass die (u.a.) in Nr. 13.6.1 geregelten Gewässerausbaumaßnahmen großräumige Auswirkungen auf den Wasserhaushalt haben, die nicht nur die Fläche des aufgestauten Wassers betreffen, sondern auch das Gebiet, dem Wasser entzogen wird.<sup>111</sup> Umgekehrt ist für Maßnahmen, die keinen Gewässerausbau darstellen und daher nicht von Nr. 13.6 Anlage 1 UVPG erfasst werden, von der Anwendbarkeit der Nr. 19.9 Anlage 1 UVPG auszugehen.<sup>112</sup> Dies entspricht auch dem Begriff „künstliche Wasserspeicher“, der insoweit eine Abgrenzung von „natürlichen“ Gewässern, die i.S.v. §§ 67, 68 WHG ausgebaut werden können, zum Ausdruck bringt. Außerdem trägt dies dem oben dargelegten Verständnis Rechnung, dass § 20 UVPG für Infrastruktur-Großvorhaben ein Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren als konzentriertes Verfahren zur Verfügung stellen soll.

---

<sup>106</sup> Vgl. auch Peters / Balla, UVPG, § 20 Rn. 3.

<sup>107</sup> BT-Drs. 14/4599, S. 75; ebenso Beckmann in Hoppe, UVPG, § 20 Rn. 12.

<sup>108</sup> BT-Drs. 14/4599, S. 75; ebenso Beckmann in Hoppe, UVPG, § 20 Rn. 12.

<sup>109</sup> Eingeführt durch die UVP-Änderungsrichtlinie 97/11/EG v. 3.3.1997, ABl. L 73 v. 14.3.1997 S. 5 ff.

<sup>110</sup> BT-Drs. 14/4599, S. 124.

<sup>111</sup> BT-Drs. 14/4599, S. 69.

<sup>112</sup> So i.E. auch Hagmann in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, § 20 Rn. 31.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass auch eine etwaige Wasserfernleitung nach Nr. 19.8 unter § 20 UVPG fiele, wenn die weiteren Kriterien erfüllt sind (Gemeindegebiet überschreitend, mindestens 2 km Länge).

### **2.1.8 Naturschutzrechtliche Aspekte**

Das BNatSchG sieht kein eigenes Genehmigungsverfahren vor, das für Errichtung oder Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes einschlägig wäre. Wohl aber können die Anforderungen des Naturschutzrechts zur Folge haben, dass bestimmte Maßnahmen im Zusammenhang mit Errichtung oder Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes einer Ausnahmegenehmigung bedürfen, insbesondere wenn Fragen des Gebiets- oder Artenschutzes berührt sind. Dies gilt vor allem für Anlagenteile über Tage und für die Netzanbindung. Inwieweit naturschutzrechtliche Belange betroffen sind, ist vom jeweiligen Einzelfall abhängig. Eine ausführliche Darstellung hierzu enthält der Teilbericht Umweltauswirkungen.

## **2.2 Genehmigungsverfahren**

Die oben dargestellten Genehmigungstatbestände können möglicherweise in einem konzentrierten Verfahren als Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahren geprüft werden (2.2.1). Ist ein solches Verfahren nicht anwendbar, müssen gesonderte Verfahren durch die jeweils zuständigen Behörden durchgeführt werden. Besonderheiten gelten für das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren, dem gleichfalls Konzentrationswirkung zukommt (2.2.2).

### **2.2.1 Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren**

Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahren können nur aufgrund gesetzlicher Anordnung durchgeführt werden, § 72 Abs. 1 VwVfG. Inwieweit eine solche Anordnung im Hinblick auf die Errichtung untertägiger Pumpspeicherwerke besteht, ist bislang nicht vollständig geklärt (2.2.1.1). Liegt eine solche Anordnung vor, führt dies zu einer formellen Verfahrenskonzentration (2.2.1.2).

## 2.2.1.1 Gesetzliche Anordnung

### 2.2.1.1.1 §§ 67, 68 WHG

§ 68 WHG schreibt ein Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren im Falle eines Gewässerausbaus nach § 67 WHG vor. Die Untersuchungen unter 2.1.3.6 haben gezeigt, dass die Anwendbarkeit dieser erst kürzlich geänderten Vorschrift bislang nicht gesichert ist. Daher kann hinsichtlich eines untertägigen Pumpspeicherwerks nicht eindeutig festgestellt werden, ob und ggf. inwieweit ein Gewässerausbau i.S.d. § 67 Abs. 2 WHG gegeben ist, der zu einem Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren führt.

Wie dargestellt erscheint ein Gewässerausbau allerdings hinsichtlich der Wasserhaltung naheliegend und wäre daher in einem Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren zu genehmigen. Demgegenüber würde die Anlage der Speicherbecken auf Grundlage der obigen Ausführungen nicht unter das Wasserrecht fallen, so dass ein Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren nach §§ 67, 68 WHG nicht zur Anwendung käme. Insoweit dürfte aber § 20 UVPG Anwendung finden (oben 2.1.7.3 und unten 2.2.1.1.2). Wie das Verhältnis beider Planfeststellungsverfahren zu lösen ist, bedürfte weiterer Untersuchung.

### 2.2.1.1.2 § 20 UVPG i.V.m. Nr. 19.9 oder Nr. 19.8 Anlage 1 UVPG

Für die Vorhaben nach Nr. 19.3 bis 19.9 Anlage 1 UVPG ergibt sich ausnahmsweise unmittelbar aus § 20 UVPG die Verpflichtung zur Durchführung eines Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahrens. Wie oben ausgeführt (2.1.7.3) ist die Anwendbarkeit des § 20 UVPG insbesondere für die Speicherbecken eines untertägigen Pumpspeicherwerkes zu bejahen. Diese wären als Vorhaben nach Nr. 19.9 Anlage 1 UVPG, also „Errichtung und Betrieb eines künstlichen Wasserspeichers“ mit mindestens 5.000 m<sup>3</sup> Wasser und bis zu 10 Mio. m<sup>3</sup> und mehr Wasser, einzuordnen.

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass Errichtung und Betrieb einer etwaigen Wasserfernleitung (Nr. 19.8 Anlage 1 UVPG) gleichfalls unter § 20 UVPG fallen würde, wenn das Gebiet einer Gemeinde überschritten wird und eine Mindestlänge von 2 km erreicht wird.

#### 2.2.1.1.3 § 31 Abs. 2, 3 KrW-/AbfG

Für die Errichtung bzw. den Betrieb einer Deponie ist gemäß § 31 Abs. 2, 3 KrW-/AbfG eine Planfeststellung bzw. Plangenehmigung notwendig. Wie ausgeführt, dürfte eine endgültige Aufhaldung („Ablagerung“) des Gesteinsaushubs dieser Vorschrift unterfallen (2.1.5).

#### 2.2.1.1.4 § 43 EnWG

Hinsichtlich Hochspannungs*freileitungen* (nicht -erdleitungen) ab 110 kV sieht § 43 S. 1 Nr. 1 EnWG ein Planfeststellungsverfahren vor. Unter der Voraussetzung des § 43b Nr. 2 EnWG, dass für die Errichtung einer Hochspannungsfreileitung keine UVP notwendig ist, kann auf Antrag des Vorhabenträgers stattdessen ein bloßes Plangenehmigungsverfahren durchgeführt werden.

Für Hochspannung*serdleitungen* ist ein Planfeststellungsverfahren hingegen nur in Ausnahmefällen vorgesehen, die im Hinblick auf untertägige Pumpspeicherwerke ohne Bedeutung sein dürften (oben 2.1.5).

#### 2.2.1.2 Rechtswirkungen einer Planfeststellung oder Plangenehmigung

Von einer Planfeststellung bzw. -genehmigung gehen besondere Rechtswirkungen aus, die die Verwirklichung des Vorhabens erleichtern können. Aufgrund der formellen Konzentrationswirkung tritt grundsätzlich eine umfassende Zuständigkeits- und Verfahrenskonzentration ein.<sup>113</sup> Die Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsbehörde wird somit zum einzigen notwendigen behördlichen Ansprechpartner des Vorhabenträgers. Durch die Planfeststellung bzw. Plangenehmigung werden gemäß § 75 Abs. 1 S. 1 VwVfG schließlich alle sonst erforderlichen Verwaltungsakte einschließlich der notwendigen Folgemaßnahmen ersetzt.

Aufgrund der Gestaltungs- und Duldungswirkung werden außerdem zum einen alle öffentlich-rechtlichen Rechtsbeziehungen zwischen dem Träger des Vorhabens und den von dem Vorhaben Betroffenen neu gestaltet, zum anderen werden dadurch privatrecht-



liche und öffentlich-rechtliche Ansprüche auf Unterlassung des Vorhabens, auf Beseitigung oder Änderung der Anlagen oder auf Unterlassung ihrer Benutzung ausgeschlossen. Hierauf wird im Abschnitt Eigentumsrecht unter 3.4.2 einzugehen sein.

Nicht automatisch mit der Planfeststellung oder Plangenehmigung verbunden sind weitergehende privatrechtliche Wirkungen oder eine Enteignungswirkung. Beispielsweise besteht kein Recht auf die Benutzung fremder Grundstücke.<sup>114</sup> Der Planfeststellung bzw. der Plangenehmigung kann jedoch eine enteignungsrechtliche Vorwirkung zukommen, wenn und soweit dies gesetzlich vorgesehen ist. Diesbezügliche Regelungen enthalten § 71 WHG für den Gewässerausbau und § 45 EnWG für Hochspannungsleitungen. Dagegen ist eine enteignungsrechtliche Vorwirkung im Rahmen des § 20 UVPG für künstliche Wasserspeicher oder Wasserfernleitungen nicht vorgesehen. Dies wird im eigentumsrechtlichen Abschnitt unter 3.4.2.3 näher erörtert.

### **2.2.2 Einzelverfahren**

Soweit für bestimmte Teilbereiche eines untertägigen Pumpspeicherwerkes das Eingreifen eines Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahrens zu verneinen ist, sind Einzelverfahren nach den einschlägigen Tatbeständen durch die jeweils zuständigen Behörden durchzuführen. Die Prüfung der Genehmigungsfähigkeit ist insoweit aus verfahrensrechtlicher Sicht erschwert. Dies betrifft etwa einen Netzanschluss im Wege der Erdverkabelung.

Besonderheiten gelten für immissionsschutzrechtliche Genehmigungen, wie sie im Falle von Umspannanlagen und im Falle der Lagerung (nicht einer endgültigen Ablagerung) von Gesteinsaushub erforderlich werden können (oben 2.1.1.2 und 2.1.1.3). Diesen kommt gemäß § 13 BImSchG gleichfalls eine – eingeschränkte – formelle Konzentrationswirkung zu. Nicht umfasst werden insbesondere Planfeststellungen und wasserrechtliche Gestattungen. Zudem haben immissionsschutzrechtliche Genehmigungen ähnlich der Planfeststellung oder Plangenehmigung nach § 14 BImSchG auch Ausschlusswirkung gegenüber privatrechtlichen Abwehransprüchen auf Betriebseinstellung.

---

<sup>113</sup> Kopp/Ramsauer, VwVfG, § 74 Rn. 11. Die materiell-rechtlichen Anforderungen bleiben durch das Planfeststellungsverfahren unberührt, d.h. die Planfeststellungsbehörde hat für ihre Einhaltung jeweils selbst einzustehen, vgl. BVerwG NVwZ 1984, 723.

<sup>114</sup> Kopp/Ramsauer, VwVfG, § 75 Rn. 12; Stelkens et al., VwVfG, § 75 Rn. 62.

### **2.3 Vorgelagertes Raumordnungsverfahren**

Bei Raumbedeutsamkeit des Vorhabens ist ggf. ein der Genehmigung vorgelagertes Raumordnungsverfahren im Hinblick auf ein untertägiges Pumpspeicherwerk durchzuführen. Dieses dient der Klärung der raumordnerischen Verträglichkeit eines raumbedeutenden Vorhabens. Die Raumbedeutsamkeit eines Vorhabens bemisst sich danach, ob Raum in Anspruch genommen oder die räumliche Entwicklung oder Funktion eines Gebietes beeinflusst wird, § 3 Abs. 1 Nr. 6 ROG. Neben dem Flächenverbrauch können daher im Einzelfall auch die Auswirkungen auf andere Raumnutzungen und die angestrebte Funktion des betroffenen Raumes zur Anerkennung der Raumbedeutsamkeit des Vorhabens führen.

Grundsätzlich kann auch die Nutzung des Untergrundes erfasst werden, wie etwa die Grundsätze der Raumordnung nach § 2 Nr. 4 S. 4 (zu Rohstoffen) und Nr. 6 S. 8 (zur Einlagerung klimaschädlicher Stoffe) ROG verdeutlichen. Dementsprechend sind zur planerischen Ordnung der Nutzungsmöglichkeiten des Untergrundes auch raumordnerische Vorgaben denkbar.<sup>115</sup> So sehen die allgemeinen Planungsabsichten für eine Änderung des Landes-Raumordnungsprogramms Niedersachsen vor, den Bedarf an vorsorgenden raumordnerischen Nutzungsfestlegungen zu prüfen, um der wachsenden Bedeutung tiefer liegender geologischer Strukturen durch ihre Nutzung als Speicherkavernen für energiewirtschaftliche Zwecke oder für den Klimaschutz Rechnung zu tragen.<sup>116</sup> Allerdings fehlt es weitgehend an einer näheren Ausgestaltung. Raumordnungsverfahren werden daher bislang, soweit ersichtlich, an ihren Auswirkungen auf die Oberflächennutzung ausgerichtet.

Hinweise auf die Notwendigkeit eines Raumordnungsverfahrens im Hinblick auf die mit einem untertägigen Pumpspeicherwerk verbundenen Oberflächenauswirkungen gibt zunächst die Raumordnungsverordnung (RoV), auf die § 15 Abs. 1 ROG verweist. § 1 RoV enthält einen enumerativ ausgestalteten Katalog von Planungen und Maßnahmen, bei denen grundsätzlich ein Raumordnungsverfahren durchgeführt werden soll. So sieht § 1

---

<sup>115</sup> Dietrich/Schäperklaus, Zeitschrift Erdöl, Erdgas und Kohle, 1/ 2009, S. 20 (24 f.); Franke in: Kühne/Ehricke (Hrsg.), Bergrecht zwischen Tradition und Moderne, S. 99 (133, 136 f.); Dietrich in: Kühne/Ehricke (Hrsg.), Bergrecht zwischen Tradition und Moderne, S. 139, (161 ff.); Erbguth, ZUR 2011, 121 ff.

<sup>116</sup> Bekanntmachung des ML v. 29.4.2009 – 303.1-20 302/25-2-1, abrufbar unter: [http://www.ml.niedersachsen.de/live/live.php?navigation\\_id=26909&article\\_id=90404&psmand=7](http://www.ml.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=26909&article_id=90404&psmand=7) (21.12.2010). Vgl. auch Antwort der BReg v. 20.5.2009, BT-Drs. 16/13083 S. 8.

Nr. 14 RoV ein Raumordnungsverfahren für Hochspannungsfreileitungen ab 110 kV vor. Eine Mindestlänge ist nicht vorgegeben, doch wäre die Raumbedeutsamkeit in aller Regel zu verneinen, wenn die Trassenlänge nur wenige Kilometer beträgt.

Eine etwaige Aufhaldung von Gesteinsaushub kann § 1 Nr. 1 bzw. § 1 Nr. 4 RoV unterfallen, je nachdem, ob eine Lagerung oder eine Ablagerung des Gesteinsaushubs erfolgt. § 1 Nr. 1 RoV (Lagerung) greift hierbei nur ein, wenn die Mengenanforderungen der Nr. 8.12 (bei Lagerung bis zu einem Jahr) bzw. 8.14 (bei Lagerung für mehr als ein Jahr) des Anhangs der 4. BImSchV und die Mengenanforderungen der Nr. 8.9 der Anlage 1 UVP-G erfüllt sind. Wie oben ausgeführt, ist bei Aufhaldung von Gesteinsaushub aber von einer Überschreitung dieser Mindestmengen auszugehen. Entscheidend ist im Ergebnis daher stets, ob die Aufhaldung im Einzelfall raumbedeutsam ist und überörtliche Bedeutung hat. Ein gewisses Indiz könnte insoweit der Vergleich mit § 1 Nr. 16 RoV i.V.m. § 52 Abs. 2a bis 2c BBodG und der UVP-V Bergbau liefern: Dort werden Vorhaben als raumbedeutsam eingestuft, welche einen Oberflächenverbrauch von 10 ha oder mehr<sup>117</sup> bzw. 5 ha oder mehr<sup>118</sup> aufweisen.

Zudem könnte ein untertägiges Pumpspeicherwerk dem Wortlaut nach von § 1 Nr. 7 RoV erfasst sein, soweit ein Gewässerausbau i.S.d. §§ 67, 68 WHG mit der oben dargestellten Auffassung hinsichtlich der Grundwasserhaltung bejaht wird. Allerdings dürfte die Regelung des § 1 Nr. 7 RoV entsprechend der Vorgängerauslegung des § 31 WHG a.F. nur den Ausbau oberirdischer Gewässer im Blick gehabt haben, die Anwendbarkeit auf Fälle eines unterirdischen Gewässerausbaus erscheint sehr zweifelhaft.

§ 1 S. 2 RoV sieht darüber hinaus vor, dass die Länder weitere, über den Katalog der RoV hinausgehende raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen von überörtlicher Bedeutung in einem Raumordnungsverfahren überprüfen können. Insoweit listen die Landesgesetze teilweise konkrete Sachverhalte auf, z.T. finden sich aber auch generalklauselartige Regelungen.<sup>119</sup> Erforderlich ist stets, dass es sich um raumbedeutsame Planungen oder Maßnahmen von überörtlicher Bedeutung handelt. Von einer relevanten Raumnutzung durch ein untertägiges Vorhaben ist nach derzeitigem Stand grundsätzlich

---

<sup>117</sup> Oberflächenbedarf überirdischer bergbaulicher Betriebsanlagen und Betriebsanlagen etc. bei Gewinnung bestimmter Bodenschätze im Tiefbau gemäß § 1 Nr. 1 lit. a)aa) UVP-V Bergbau; Halden gemäß § 1 Nr. 3 UVP-V Bergbau.

<sup>118</sup> Schlamm- und Klärlagerplätze und Klärteiche gemäß § 1 Nr. 4 UVP-V Bergbau.

<sup>119</sup> So z.B. in Niedersachsen, vgl. § 13 Abs. 2 NROG.

aber nur auszugehen, wenn durch das Vorhaben zugleich ein größerer Teil der Erdoberfläche beansprucht wird. Wie bereits angesprochen, kann hierbei die Regelung des § 1 Nr. 16 RoV i.V.m. § 52 Abs. 2a bis 2c BBergG und der UVP-V Bergbau als gewisses Indiz herangezogen werden, die einen Oberflächenverbrauch von 10 ha oder mehr bzw. 5 ha oder mehr verlangt. Insoweit ist entscheidend, wie viel Fläche durch oberirdische Maßnahmen im Rahmen eines hier betrachteten Projektes, beispielsweise durch oberirdische Gebäude, Zufahrten, Schachtanlagen oder die etwaige Anlage einer Halde, betroffen ist. Dies kann nur im Einzelfall beurteilt werden.

## **2.4 Modellbergwerk Grund**

Im Folgenden werden die im Rahmen des allgemeinen genehmigungsrechtlichen Bearbeitungsteils herausgestellten Erkenntnisse (vgl. insb. unter 2.1) auf das Modellbergwerk Grund angewendet. Dabei wird auf die in anderen Teilbereichen herausgearbeiteten Erkenntnisse bzw. auf die im Rahmen des Projekts erfolgten Absprachen zurückgegriffen und diese als Grundlage für die genehmigungsrechtliche Beurteilung des Modellbergwerks Grund verwendet.

### **2.4.1 Immissionsschutzrecht**

Genehmigungspflichten nach Vorschriften des BImSchG sind für ein unterirdisches Pumpspeicherwerk als solches (vgl. oben 2.1.1.1) und somit auch für das Modellbergwerk Grund nicht ersichtlich.

Wie schon aus den grundlegenden Überlegungen hervorgeht, wäre eine Umspannstation mit einer Oberspannung von 220 kV oder mehr gemäß § 4 BImSchG i.V.m. Nr. 1.8 des Anhangs zur 4. BImSchV genehmigungspflichtig. Eine solche Anlage ist jedoch bei der Konzeption des Modellbergwerks Grund nicht vorgesehen. Vielmehr wird vorliegend von einer Oberspannung von 110 kV ausgegangen. Zudem ist die Errichtung einer Umspannstation zur Anbindung an das vorhandene Hochspannungsnetz ebenfalls nicht geplant (vgl. Teilbericht Energiesystemtechnik); vielmehr soll das vorhandene Umspannwerk bei Münchhof für die Netzanbindung genutzt werden.

Eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung kann schließlich bei Aufhaldung von Aushubmaterial erforderlich werden. Menge, Zustand und Verwendungsmöglichkeiten

des Aushubmaterials sind in diesem Stadium allerdings noch nicht abschließend bekannt. Ausgegangen wird von einem Aushubvolumen von ca. 1 Million m<sup>3</sup>, wobei der Haldenstandort an der Wiemannsbucht eine solche Kapazität nicht aufweist (vgl. Teilbericht Bergbau). Inwieweit eine temporäre oder (teilweise) dauerhafte Aufhaldung angedacht werden kann, kann daher nicht abschließend beurteilt werden. Falls eine zeitweilige Aufhaldung von unbelastetem (nicht gefährlichem) Material mit einer Gesamtlagerkapazität von 100 Tonnen oder mehr erfolgen soll, wäre ein Genehmigungsverfahren nach § 4 BImSchG i.V.m. Nr. 8.12 lit. b (Spalte 2) Anhang 4. BImSchV einschlägig. Diese Größenordnung wird bei den anfallenden Aushubmengen zu bejahen sein. Bei einer längerfristigen Lagerung (über ein Jahr) wäre Nr. 8.14 Anhang 4. BImSchV anzuwenden, der keine Mindestmengen voraussetzt.<sup>120</sup> Im Ergebnis wäre im Falle der Lagerung von nicht gefährlichem Abfall aller Voraussicht nach eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung erforderlich. Im Falle einer endgültigen Ablagerung wäre hingegen ein Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren nach § 31 Abs. 2 KrW-/AbfG einschlägig.

#### **2.4.2 Bergrecht**

Wie schon im allgemeinen Teil ausgeführt, ist nach derzeitiger Rechtslage die Anwendbarkeit des BBergG im Zusammenhang mit untertägigen Pumpspeicherwerken weitgehend ausgeschlossen, obwohl fachlich dem Bergrecht naheliegende Tätigkeiten im Zuge von Errichtung und Betrieb notwendig wären. Eine ggf. notwendige Anpassung des Abschlussbetriebsplans auf eine Folgenutzung des stillgelegten Bergwerks als Standort für ein untertägiges Pumpspeicherwerk ist vorliegend nicht notwendig, da die Bergaufsicht über das Modellbergwerk Grund mittlerweile beendet ist.

##### **2.4.2.1 Auffahrung von Speicherbecken und anderen Hohlraumbauten**

Notwendig für die Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks ist zunächst die Auffahrung eines Ober- und Unterbeckens in Gestalt der schon im Zuge des Teilberichts Bergbau dargestellten Speicherstrecken. Daneben ist die Herstellung einer Maschinenka-

verne notwendig. Zudem ist insbesondere die Strecke für die Druckrohrleitung zwischen Ober- und Unterbecken anzulegen. Eine Gewinnung von Bodenschätzen, die dem BBergG unterfallen würde, ist hiermit nicht verbunden. Die am Standort Grund zu erwartenden Stoffe – Grauwacke und Tonschiefer – sind, auch nach Einschätzung der Bergbehörde, nicht als Bodenschätze i.S.v. § 3 Abs. 1 BBergG einzustufen. Von den vorhandenen Gängen (mit Mineralien gefüllten Gesteinsspalten) soll wegen der schlechteren Standfestigkeiten bewusst Abstand gehalten werden. Aufgrund des Wegfalls von § 130 BBergG a.F. als zentraler bergrechtlicher Vorschrift für Hohlraumauffahrungen finden sich im BBergG für die hier beschriebenen Maßnahmen auch keine anderen genehmigungsrechtlichen Tatbestände mehr. Insbesondere sind weder § 126 BBergG (Untergrundspeicherung) noch § 127 BBergG (Bohrungen) anwendbar. Auch landesrechtliche Sonderregelungen des Gefahrenabwehrrechts ähnlich den Regelungen in Thüringen oder Sachsen sind für Niedersachsen nicht ersichtlich.

Gesondert dargestellt wird die Anwendbarkeit der niedersächsischen Bauvorschriften auf die Errichtung der unterirdischen Hohlräume (siehe unten 2.4.4).

#### 2.4.2.2 Schachtabteufungen

Neben dem bestehenden Wiemannsbuchtschacht, der als Transport- und Fluchtschacht vorgesehen ist, wären zwei weitere Schächte in unmittelbarer Nähe der unterirdischen Maschinenkaverne abzuteufen: Ein Schacht würde dabei als zweiter Fluchtschacht fungieren, ein weiterer für Menschen zugänglicher Schacht wäre notwendig, um die notwendigen 110-kV-Kabel von der Maschinenkaverne an die Oberfläche zu führen.

Wie bereits dargestellt, wird in der Praxis der Bergämter eine Schachtabteufung nicht als „Bohrung“ i.S.v. § 127 BBergG angesehen und würde daher keiner Anzeige- und ggf. Betriebsplanpflicht nach dieser Vorschrift unterliegen. Nach der vertretbaren Gegenauffassung hingegen unterfiele das Abteufen von Schächten der Anzeige- und ggf. Betriebsplanpflicht nach § 127 BBergG. In jedem Fall besteht eine Anzeigepflicht nach § 4 Abs. 1 LagerstG.

---

<sup>120</sup> Mengenanforderungen haben allerdings Einfluss auf die Zulässigkeit eines vereinfachten Verfahrens nach § 19 BImSchG, vgl. § 2 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 und 2 der 4. BImSchV i.V.m. Nr. 8.14 (Spalten

#### 2.4.2.3 Probebohrungen sowie Be- und Entlüftungsbohrungen

Nach Einschätzung des Projektbereichs Bergbau sind ggf. Probebohrungen zur genauen Positionierung der Speicherstrecken notwendig. Sofern diese Bohrungen mehr als 100m in den Boden eindringen sollen, ist für diese Handlungen § 127 BBergG einschlägig. Danach besteht im Regelfall eine Anzeigepflicht gemäß § 50 Abs. 1 BBergG, sofern die zuständige Behörde nicht im Einzelfall eine Betriebsplanpflicht gemäß § 127 Abs. 1 Nr. 2 BBergG anordnet, weil dies mit Rücksicht auf den Schutz Beschäftigter oder Dritter oder die Bedeutung des Betriebes für erforderlich gehalten wird. Hiervon ist bei Probebohrungen im Regelfall nicht auszugehen.

Entsprechend zu beurteilen ist die Rechtslage für Bohrungen, die vorgenommen werden, um die Be- oder Entlüftung insbesondere der Speicherbecken zu ermöglichen.

Außerdem ist der jeweilige Bohrbeginn gemäß § 4 Abs. 1 LagerstG spätestens zwei Wochen im Voraus beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie anzuzeigen.

#### 2.4.2.4 Zwischenergebnis

Deutlich geworden ist, dass bergrechtliche Vorschriften nur in sehr begrenztem Maße und nur für untergeordnete Arbeiten der Errichtung eines unterirdischen Pumpspeichers im Modellbergwerk Grund einschlägig sind. Die hauptsächlichen Anlagenbestandteile und Maßnahmen lassen sich nach derzeitiger Rechtslage nicht unter Vorschriften des BBergG fassen (Auffahrung der Speicherbecken) oder werden in der Praxis jedenfalls nicht erfasst (Schachtabteufungen). Damit sind die Bergbehörden, die fachlich für entsprechende Prüfungen und Genehmigungen am qualifiziertesten wären, nur in sehr geringem Umfang sachlich zuständig. Für den Fall, dass sich aufgrund voranschreitender Forschungsarbeiten eine tatsächliche Realisierung eines unterirdischen Pumpspeichers in Niedersachsen andeuten sollte, wäre daher zu überlegen, eine stärkere Einbindung der Bergbehörden zu gewährleisten.

Denkbar wären zum einen bundesrechtliche Regelungen im Rahmen einer Änderung des BBergG. Wie oben dargestellt, käme insbesondere eine generelle Anzeige- und ggf. Be-

---

1 und 2) des Anhangs 4. BImSchV.



triebsplanpflicht für Hohlraumbauten oder, ggf. auch zusätzlich, eine spezielle Regelung für besonders bedeutsame Vorhaben wie etwa untertägige Pumpspeicherwerke in Betracht.

Sofern sich eine bundesrechtliche Regelung als nicht oder nicht hinreichend zeitnah realisierbar erweisen sollte, käme eine landesrechtliche Regelung in Betracht. Insoweit wäre eine ordnungsrechtliche Genehmigungs- oder zumindest Anzeigepflicht nach Thüringer bzw. sächsischem Vorbild in Erwägung zu ziehen. Weniger weitgehend wäre schließlich die Zuständigkeitsübertragung auf die Bergbehörden im Bereich der Gefahrenabwehr bei Hohlraumbauten denkbar, wie sie z.B. das baden-württembergische Recht vorsieht. Damit würde zwar keine Genehmigungs- oder Anzeigepflicht, wohl aber zumindest eine Prüfungskompetenz der Bergbehörden begründet.

### **2.4.3 Wasserrecht**

#### **2.4.3.1 Anwendbarkeit des WHG**

Wie im allgemeinen Abschnitt ausgeführt (siehe oben 2.1.3.1) sind die untertägigen Speicherbecken eines Pumpspeicherwerkes nicht als Gewässer im Sinne des WHG einzuordnen. Zwar handelt es sich bei den unterirdischen Speicheranlagen auch im Falle des Modellbergwerks Grund nicht um ein physisch geschlossenes System, da von ständig hinzutretendem Sickerwasser auszugehen ist, das über den in unmittelbarer Nähe verlaufenden Wasserlösungsstollen (Ernst-August-Stollen) in den natürlichen Wasserkreislauf, namentlich in die Markau beim Einleitpunkt Gittelde, abgeführt werden muss. Jedoch wird die Funktion des Wassers als Bestandteil des Naturhaushalts (vgl. § 1 WHG) durch die Nutzung des Wassers als Speichermedium im Rahmen einer unterirdischen Pumpspeicheranlage und damit durch eine gewerbliche Nutzung mit selbständigen und eigengesetzlichen Funktionen weitgehend verdrängt.

Zu bejahen ist die Anwendbarkeit des WHG hingegen, soweit im Zusammenhang mit dem untertägigen Pumpspeicherwerk auf oberirdische Gewässer oder das vorhandene Grundwasser zugegriffen wird. Dies gilt insbesondere für die erstmalige Befüllung der Speicherbecken, welche mit Hilfe des in unmittelbarer Nähe verlaufenden Wasserlösungsstollens erreicht werden soll. Bei dem hier genutzten Wasser handelt es sich um Grundwasser i.S.v. 3 Nr. 3 WHG (vgl. oben 2.1.3.1.1). Außerdem sind etwa die Grundwasserhaltung und die Abgabe überschüssigen Wassers in das Grundwasser betroffen.

#### 2.4.3.2 Wasserrechtliche Benutzungen

##### 2.4.3.2.1 Benutzungstatbestände und Genehmigungsvoraussetzungen

Auch hinsichtlich der für die Errichtung bzw. den Betrieb eines unterirdischen Pumpspeicherwerks einschlägigen Gewässerbenutzungstatbestände sowie der Genehmigungsvoraussetzungen kann auf den allgemeinen Teil (vgl. oben 2.1.3.2) verwiesen werden. Zuverlässige Informationen zum jetzigen Zustand des Wassers sowie über potentielle Veränderungen während einer möglichen Realisierung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks sind zum derzeitigen Zeitpunkt nicht bekannt und allenfalls in Ansätzen absehbar.

Hinsichtlich des Zutageförderns, Zutageleitens oder Ableitens von überschüssigem Grundwasser gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG wäre darauf zu achten, dass eine mögliche Schadstofffracht, die in den natürlichen Wasserkreislauf eingeführt wird, mit den gesetzlichen Bestimmungen vereinbar ist, wobei nach Auskunft des Landkreises Osterode insbesondere eine Belastung mit Blei und Zink möglich erscheint. Dabei wäre insbesondere auf die Vorschriften der novellierten Grundwasserverordnung (GrwV) zurückzugreifen.

Mögliche Bleibelastungen können gemäß § 13 Abs. 1 i.V.m. Nr. 7.1 Anlage 7 GrwV relevant werden. Danach sind zur Erreichung der in § 47 WHG genannten Ziele in den Maßnahmenprogrammen nach § 82 WHG Maßnahmen aufzunehmen, die einen entsprechenden Schadstoffeintrag in das Grundwasser verhindern. Im Rahmen der Umsetzung dieser Maßnahmen dürfen gemäß § 13 Abs. 1 S. 2 und 3 GrwV Einträge solcher Schadstoffe nur zugelassen werden, wenn die Schadstoffe in so geringer Menge und Konzentration in das Grundwasser eingetragen werden, dass eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit ausgeschlossen ist. Hinsichtlich potentieller Zinkbelastungen wäre insbesondere § 13 Abs. 2 i.V.m. Nr. 1.1 Anlage 8 GrwV zu beachten. Danach sind zur Erreichung der in § 47 WHG genannten Ziele in den Maßnahmenprogrammen nach § 82 WHG Maßnahmen aufzunehmen, die den Eintrag von Zink in das Grundwasser begrenzen. Gegebenenfalls könnten die entsprechenden wasserrechtlichen Gestattungen nur unter Auflagen erteilt werden, beispielsweise hinsichtlich einer Wasseraufbereitung. Weitere Ausführungen zu Grundwasserverordnung und Schwellenwerten finden sich im Teilbericht Umweltauswirkungen.

Insbesondere im Rahmen der erstmaligen Befüllung der Speicherbecken ist darauf zu achten, inwieweit durch die Entnahme von Grundwasser aus dem Ernst-August-Stollen der verbleibende Wasserzufluss in die Markau mengenmäßig relevant für anderweitige Ge-

wässerbenutzungen entlang der Markau bzw. der Söse sein könnte. Falls dort wasserrechtliche Erlaubnisse oder Bewilligungen für Gewässernutzungen Dritter bestehen, ist dafür Sorge zu tragen, dass deren Rechte insbesondere hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Wassermenge nicht beeinträchtigt werden. Gegebenenfalls wäre daher hinsichtlich der Entnahme von Grundwasser für die Beckenbefüllung gem. § 9 Abs. 1 Nr. 5 Alt. 1 WHG eine entsprechende Nebenbestimmung aufzunehmen, die eine mengenmäßige Beschränkung der Wasserentnahme bezogen auf einen bestimmten Zeitraum zum Inhalt hat, um so etwaige Nutzungskonflikte und daraus resultierenden Rechtsstreitigkeiten mit anderen Wassernutzern zu vermeiden. Eine genauere Prüfung hierzu könnte erst nach weiterer Konkretisierung des Befüllungsvorganges erfolgen.

#### 2.4.3.2.2 Wasserentnahmegebühr gemäß § 21 NWG

Wie schon im allgemeinen Bearbeitungsteil angesprochen, ist neben genehmigungsrechtlichen Aspekten auch an ein mögliches Entgelt hinsichtlich einer Gewässerbenutzung zu denken. Für Niedersachsen finden sich hierzu Regelungen in §§ 21ff. NWG.

Nach § 21 Abs. 1 NWG werden für Benutzungen nach § 9 Abs. 1 Nr. 1 (Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern) und Nr. 5 WHG (Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten und Ableiten von Grundwasser) Gebühren erhoben. Daher könnte ein Entgelt für die Absenkung des Grundwasserspiegels, für die erstmalige Beckenbefüllung sowie für die spätere stetige Abgabe überschüssigen Wassers in Frage kommen. Nach seinem Wortlaut findet § 21 Abs. 1 NWG aber keine Anwendung, soweit die betreffenden Maßnahmen dem Ausbau eines Gewässers i.S.v. § 67 Abs. 2 WHG dienen und daher gemäß § 9 Abs. 3 S. 1 WHG keine Benutzungen i.S.v. § 9 WHG sind. Dies betrifft, wenn die Grundwasserhaltung als Gewässerausbau angesehen wird (oben 2.1.3.6), das anfängliche Absenken des Grundwasserspiegels sowie ggf. die spätere Abgabe überschüssigen Grundwassers. Ob § 21 Abs. 1 NWG in diesem Sinne zu verstehen ist oder aber nur auf § 9 Abs. 1 und nicht Abs. 3 WHG verweisen will, erscheint zweifelhaft. Hiergegen spricht insbesondere, dass Ziff. 3.1 der Anlage 2 NWG eine ausdrückliche Gebührenregelung für die Wasserhaltung enthält. Im Ergebnis dürfte eine Wasserentnahmegebühr aber jedenfalls nach § 21 Abs. 2 NWG entfallen (sogleich unten).

Die Höhe der Gebühr bemisst sich nach § 22 Abs. 1 i.V.m. Anlage 2 NWG. Soweit für die Befüllung der Speicherbecken Wasser aus oberirdischen Gewässern entnommen oder ab-

geleitet wird, beträgt die Gebühr nach Ziff. 2.3 der Anlage 2 NWG 0,02045 Euro je Kubikmeter. Für das Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten und Ableiten von Grundwasser zur Wasserhaltung (Ziff. 3.1) ergibt sich eine Gebühr von 0,02556 Euro je Kubikmeter, bei sonstigen Zwecken (Ziff. 3.5) von 0,06136 Euro je Kubikmeter (z.B. Befüllung der Speicherbecken mit Grundwasser).

Ein Entgelt wird gemäß § 21 Abs. 2 NWG allerdings in bestimmten, enumerativ aufgeführten Ausnahmefällen nicht erhoben. Für das hier untersuchte Vorhaben könnte § 21 Abs. 2 Nr. 7 NWG einschlägig sein, wonach eine Gebühr für Wasserentnahmen zur Wasserkraftnutzung entfällt. Allerdings dient die Ableitung des überschüssigen Wassers nicht unmittelbar der Wasserkraftnutzung. Selbst auf die Befüllung des Speicherbeckens ist der Befreiungstatbestand nicht zweifelsfrei anwendbar, weil ein Pumpspeicherwerk neben der Stromerzeugung auch der Energiespeicherung dient. § 21 Abs. 3 NWG sieht dabei vor, dass die Gebühr dennoch erhoben wird, wenn das Wasser auch zu einem anderen, nicht in Absatz 2 genannten Zweck verwendet wird. Im Ergebnis liegt jedoch die Annahme einer Befreiung von der Gebührenpflicht sowohl für die Befüllung des Speicherbeckens als auch für die Ableitung des überschüssigen Wassers nahe. Bei diesen Benutzungen steht jeweils die Möglichkeit der Wasserkraftnutzung im Vordergrund. Daher ist gut vertretbar, dass sie i.S.v. § 21 Abs. 2 und 3 NWG diesem Zweck – und nur als Zwischenstufe auch anderen Zwecken wie der Energiespeicherung – „dienen“. Insbesondere verlangt § 21 Abs. 2 NWG nicht, dass die Benutzungen „unmittelbar“ der Wasserkraftnutzung dienen müssen.

#### 2.4.3.3 Erdaufschlüsse gem. § 49 WHG

Wie dargestellt, soll aufgrund von Erdaufschlüssen (beispielsweise durch Schachtabteufungen, siehe oben 2.1.3.2.2) in den Boden eingedrungen werden. Es ist auch davon auszugehen, dass dadurch eine Einwirkung auf Eigenschaften des Grundwassers (Bewegung, Höhe oder Beschaffenheit) möglich ist. Dementsprechend sind dem Landkreis Osterode als zuständiger Wasserbehörde die entsprechenden Arbeiten gemäß § 49 Abs. 1 S. 1 WHG einen Monat vor Beginn anzuzeigen.

Gemäß § 49 Abs. 4 WHG können durch Landesrecht abweichende Regelungen getroffen werden. Für Niedersachsen sind jedoch keine abweichenden Regelungen ersichtlich.

Vielmehr ist eine entsprechende Vorschrift zu Erdaufschlüssen (§ 138 NWG a.F.) mit Inkrafttreten des neuen Wasserhaushaltsgesetzes zum 1.3.2009 aufgehoben worden.

#### 2.4.3.4 Eignungsfeststellung gem. §§ 62, 63 WHG

Eine behördliche Eignungsfeststellung kommt nur im Falle einer Lagerung von Gesteins-aushub in Betracht, der wassergefährdende Stoffe enthält. Vorliegend ist nicht geklärt, ob überhaupt eine Lagerung erfolgen soll. Jedenfalls ist derzeit nicht ersichtlich, dass wassergefährdende Stoffe betroffen sein werden.

#### 2.4.3.5 Wasserschutzgebiet „Magdeburger Stollen“

Zum besonderen Schutz von Gewässern ermöglicht es § 51 Abs. 1 WHG, durch Rechtsverordnung Wasserschutzgebiete festzusetzen. Durch derartige Verordnungen ist es gemäß § 52 Abs. 1 Nr. 1 WHG unter anderem möglich, bestimmte Handlungen innerhalb der Schutzgebiete zu verbieten oder nur für eingeschränkt zulässig zu erklären, oder gemäß § 52 Abs. 1 Nr. 2 Buchst. a) WHG grundstücksbezogene Handlungen, insbesondere die Grundstücksnutzung, zu regeln. Über die Vorgaben der Schutzgebietsverordnung hinaus können gemäß § 52 Abs. 1 S. 1, Abs. 3 WHG weitergehende Anforderungen durch behördliche Einzelfallentscheidungen festgelegt werden, und zwar ggf. auch außerhalb des Wasserschutzgebietes (vgl. allgemein oben 2.1.3.4).

Für das Modellbergwerk Grund ist in diesem Zusammenhang auf das Wasserschutzgebiet „Magdeburger Stollen“ einzugehen, da sich aufgrund der möglichen Lage der Speicherbecken eine Beeinflussung oder gar räumliche Überschneidung mit diesem Schutzgebiet nicht von vornherein ausschließen lässt. Auch eine Erdverkabelung in diesem Bereich könnte problematisch sein.<sup>121</sup> Oberirdische Anlagen des Pumpspeicherwerkes hingegen dürften im Bereich des Wasserschutzgebietes „Magdeburger Stollen“ nicht erforderlich sein. Auch eine Beeinflussung anderer Wasserschutzgebiete erscheint ausgeschlossen.

---

<sup>121</sup> Die Ausführungen im Berichtsteil Bergbau (siehe dort unter Nr. 13.2) bzw. Energiesystemtechnik (siehe dort unter Nr. 4.1) verdeutlichen, dass im Bereich des Wasserschutzgebietes „Magdeburger Stollen“ und Umgebung eine Erdverkabelung präferiert wird. Eine Freileitung wird in diesem

#### 2.4.3.5.1 Beeinträchtigung durch Speicherbecken

Rechtliche Grundlage für das Wasserschutzgebiet „Magdeburger Stollen“ ist die „Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für die Wassergewinnungsanlage ‚Magdeburger Stollen‘ der Samtgemeinde Bad Grund“.<sup>122</sup>

Gemäß § 1 der Verordnung erfolgt die Schutzgebietsfestsetzung im Interesse der öffentlichen Wasserversorgung zum Schutze vor nachteiligen Einwirkungen. Das Wasserschutzgebiet ist gemäß § 2 S. 1 der Verordnung in zwei Schutzzonen unterteilt (Schutzzone I – Fassungsbereich, Schutzzone II – engere Schutzzone). Durch eine mögliche Überschneidung der Speicherbecken mit dem Wasserschutzgebiet wäre nur die Schutzzone II betroffen, für welche allerdings in § 4 der Verordnung ebenfalls empfindliche Einschränkungen hinsichtlich der dort zulässigen Maßnahmen enthalten sind. So ist unter anderem verboten, bergbauliche Arbeiten (§ 4 Nr. 47) oder Sprengungen (§ 4 Nr. 49) durchzuführen. Wie oben ausgeführt, wären zudem auch behördliche Einzelfallanordnungen über die Tatbestände der Schutzgebietsverordnung hinaus möglich, und zwar ggf. auch außerhalb des Wasserschutzgebietes.

Die Errichtung eines Pumpspeicherwerkes in der Schutzzone II würde Arbeiten erfordern, die gemäß § 4 der Verordnung grundsätzlich verboten sind. Ausnahmen von den Verboten sind gemäß § 5 der Verordnung nur dann zulässig, wenn die Belange des Trinkwasserschutzes durch die betreffenden Maßnahmen nicht beeinträchtigt werden. Die Ausnahmegenehmigung ist zu erteilen, wenn Beeinträchtigungen ausgeschlossen werden können (gebundene Entscheidung). Ggf. ist die Genehmigung mit Auflagen oder Bedingungen zu versehen, um Beeinträchtigungen zu verhindern. Sollten sich Beeinträchtigungen auch durch Auflagen oder Bedingungen nicht sicher ausschließen lassen, käme eine Ausnahmegenehmigung gemäß § 52 Abs. 1 S. 2 WHG nur noch in Betracht, wenn überwiegende Gründe des Allgemeinwohls dies erfordern. Hierbei müssten die denkbaren Beeinträchtigungen der öffentlichen Wasserversorgung gegen die Bedeutung des untertägigen Pumpspeicherwerkes für die Energieversorgung abgewogen werden. Eine abschließende Beurteilung ist aufgrund der vorhandenen Informationen nicht möglich, doch ist die Möglichkeit einer Ausnahmegenehmigung zurückhaltend zu betrachten.

---

Bereich nicht angedacht, weswegen sich an dieser Stelle die Betrachtungen ebenfalls auf die Erdverkabelungsvariante beschränken.

<sup>122</sup> Amtsblatt für den Regierungsbezirk Braunschweig 1982, S. 71ff.

Darüber hinaus könnte, wie sich aus dem Teilbericht Umweltauswirkungen ergibt, eine Beeinträchtigung eines Wasserschutzgebietes durch ein untertägiges Pumpspeicherwerk insbesondere durch eine mögliche Drainagewirkung sowie durch die Mobilisierung von Schadstoffen erfolgen. Insoweit sind, selbst wenn das untertägige Pumpspeicherwerk außerhalb des Wasserschutzgebietes liegen sollte, negative Auswirkungen, die auch die Schutzzone I betreffen können, möglich und können zu behördlichen Einzelfallentscheidungen Anlass geben. Inwieweit solche Gefahren tatsächlich am Modellbergwerk Grund auftreten könnten, ist nach derzeitigem Stand nicht bekannt.

Im Ergebnis sollte möglichst vermieden werden, dass die Speicherbecken in das Wasserschutzgebiet „Magdeburger Stollen“ hineinreichen. Zudem ist bei der Anlage der Speicherbecken zu beachten, ob sich eine Beeinträchtigung des Wasserschutzgebietes ergeben kann, selbst wenn die Speicherbecken außerhalb dieses Schutzgebietes liegen.

#### 2.4.3.5.2 Beeinträchtigung durch Erdverkabelung

Für eine angedachte Erdverkabelung der Netzanschlussleitung durch das Wasserschutzgebiet „Magdeburger Stollen“ wären ebenfalls Vorschriften dieser Verordnung zu beachten. Notwendig für die Vornahme einer Erdverkabelung wäre die Aushebung eines ca. 2 m tiefen und 50 cm breiten Grabens (vgl. auch im Teilbericht Energiesystemtechnik).

Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass eine Trassierung entlang einer bestehenden Gasleitung der Harz Energie Netz GmbH, die teilweise durch das Wasserschutzgebiet „Magdeburger Stollen“ verläuft, angedacht ist (siehe Teilbericht Bergbau sowie Teilbericht Energiesystemtechnik). Damit könnte die bestehende Trassierung genutzt und eine neue Schneise durch das Gebiet vermieden werden. Dies entspricht dem sog. Bündelungsgrundsatz, der im Planungs- und Naturschutzrecht verbreitet Anwendung findet. Hierdurch allein ist die wasserrechtliche Zulässigkeit der Trasse aber noch nicht gesichert.

Insoweit ist zu beachten, dass die Gashochdruckleitung der Harz Energie Netz GmbH laut Auskunft des Betreibers schon im Jahr 1975 verlegt worden ist. Die Ausweisung als Wasserschutzgebiet ist erst 1982 erfolgt. Für Anlagen, welche beim Inkrafttreten der Verordnung vorhanden waren, gewährt § 7 der Verordnung einen eingeschränkten Bestandschutz. Diese bleiben, auch wenn sie den Vorschriften des § 4 nicht entsprechen, gemäß § 7 S. 1 der Verordnung weiter zugelassen. Dennoch besteht auch die Möglichkeit der zuständigen Wasserbehörde, nach § 7 S. 2 der Verordnung von Amts wegen oder auf Antrag



des Wasserwerksträgers jederzeit die Änderung oder Beseitigung zu verlangen, wenn der Zweck der Verordnung es erforderlich macht. Festzuhalten bleibt daher, dass bestehenden gegenüber neu zu errichtenden Anlagen eine gewisse Privilegierung zukommt. Somit lässt sich aus der Existenz der Gashochdruckleitung nicht sicher folgern, dass die Wasserbehörde eine Beeinträchtigung von Belangen des Trinkwasserschutzes durch die Verlegung einer Hochspannungserdleitung verneinen würde.

Von den Verbotstatbeständen der Wasserschutzgebietsverordnung kommt, auch nach Auskunft des Landkreises Osterode, insbesondere § 4 Nr. 50 der Verordnung (Verletzung der belebten Bodenschicht) in Betracht. Entsprechend den vorstehenden Ausführungen zu Speicherbecken bestehen auch hier Ausnahmemöglichkeiten gemäß § 5 der Verordnung. Sichergestellt sein muss, ggf. durch Auflagen oder Bedingungen, dass Belange des Trinkwasserschutzes durch die Maßnahmen der Erdverkabelung nicht beeinträchtigt werden. Die Eingriffsintensität in Bezug auf das Wasserschutzgebiet aufgrund der Verlegung eines Erdkabels ist sehr begrenzt (2 m Tiefe, 50 cm Breite). Sie wird auch seitens des Landkreises Osterode als gering erachtet. Die Erteilung einer Ausnahme seitens der zuständigen Behörde wäre danach wahrscheinlich.

#### 2.4.3.6 Gewässerausbau gemäß §§ 67, 68 WHG

Hinsichtlich der Vorschriften zum Gewässerausbau ist auf den allgemeinen Teil zu verweisen (oben 2.1.3.1.2). Danach ist davon auszugehen, dass es sich hinsichtlich der Speicherbecken nicht um ein „Gewässer“ i.S.d. WHG (hier: Grundwasser) handelt. Damit scheidet eine Anwendung der §§ 67, 68 WHG auf die Errichtung der Speicherbecken von vornherein aus.

Aus den oben genannten Erwägungen (vgl. oben 2.1.3.6) naheliegend erscheint hingegen die Annahme eines Gewässerausbaus bei Einrichtung einer umfangreichen Grundwasserhaltung wie für Errichtung und Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes notwendig. Allerdings ist die Anwendung der §§ 67, 68 WHG auf Grundwassersachverhalte keineswegs gesichert. Eine gewisse Tendenz zum Ausschluss von Grundwassersachverhalten kann auch den Vorschriften über Stauanlagen nach §§ 44ff. NWG entnommen werden, die ausdrücklich nur auf oberirdische Gewässer Anwendung finden. Dabei definiert § 44 NWG eine Stauanlage als eine Anlage im Gewässer, die durch Hemmen des Wasserabflusses den Wasserspiegel heben oder Wasser ansammeln soll. Zum gleichen Ergebnis ge-

langt, unter Betonung des Ausschlusses der Vorschriften zum Gewässerausbau bei unterirdischen Sachverhalten, auch die für das Modellbergwerk Grund zuständige Wasserbehörde.

#### 2.4.3.7 Zwischenergebnis

Für das Modellbergwerk Grund gelten zunächst die Ausführungen des allgemeinen Teils zu Gewässerbenutzungen bzw. einem Gewässerausbau. Die Annahme eines Gewässerausbaus bei Grundwassersachverhalten, hier also der Einrichtung einer Grundwasserhaltung, ist sehr umstritten. Eine Gebührenpflicht für Wasserentnahmen gemäß § 21 Abs. 1 NWG kann mit guten Argumenten gemäß § 21 Abs. 2 Nr. 7 NWG verneint werden.

Erforderliche Erdaufschlüsse sind dem Landkreis Osterode als zuständiger Wasserbehörde gemäß § 49 Abs. 1 S. 1 WHG einen Monat vor Beginn anzuzeigen. Die Notwendigkeit einer behördlichen Eignungsfeststellung nach §§ 62, 63 WHG im Falle einer etwaigen Lagerung von Gesteinsaushub ist derzeit nicht ersichtlich.

Besondere Aufmerksamkeit muss den bestehenden Einschränkungen in der Verordnung zum Wasserschutzgebiet „Magdeburger Stollen“ gewidmet werden. Diese würden eine Ausnahmegenehmigung für die Erstreckung der Speicherbecken in das Wasserschutzgebiet oder für eine Erdverkabelung durch dieses Gebiet erforderlich machen. Hierbei erscheint die Genehmigung einer Erdverkabelung weniger problematisch. Die Anlage der Speicherbecken hingegen sollte möglichst außerhalb des Wasserschutzgebietes erfolgen; zudem sind etwaige Auswirkungen auf das Wasserschutzgebiet auch dann zu berücksichtigen, wenn die Speicherbecken außerhalb dieses Schutzgebietes liegen.

### 2.4.4 Baurecht

#### 2.4.4.1 Unterirdisches Pumpspeicherwerk als solches

Im Bereich baurechtlicher Vorschriften ist zunächst auf bauordnungsrechtliche Normen einzugehen. Wie hierzu im allgemeinen Abschnitt ausgeführt wurde (vgl. unter 2.1.4.1), ist die Anwendbarkeit bauordnungsrechtlicher Vorschriften im Hinblick auf unterirdische Hohlräume denkbar. Dieser Befund lässt sich auch für die niedersächsische Bauordnung aufrecht erhalten.

Gemäß § 3 Abs. 1 Nr. 2 NBauO gilt die niedersächsische Bauordnung nicht für Anlagen und Einrichtungen unter der Aufsicht der Bergbehörden. Vorliegend ist jedoch der Anwendungsbereich des Bergrechts stark eingeschränkt (vgl. unter 2.1.2). Insbesondere die hauptsächlichen Anlagenbestandteile und Maßnahmen in Gestalt der Auffahrung von Speicherbecken werden nach derzeitiger Rechtslage nicht unter Vorschriften des BBergG gefasst und fallen daher nicht unter die Bereichsausnahme des § 3 Abs. 1 Nr. 2 NBauO. Vielmehr stellt § 2 Abs. 1 S. 2 Nr. 4 NBauO unterirdische Hohlräume einer baulichen Anlage gleich. Danach gelten künstliche Hohlräume unterhalb der Erdoberfläche als bauliche Anlagen, auch wenn sie nicht unter den Anlagenbegriff des § 2 Abs. 1 S. 1 NBauO fallen. Damit kann als Zwischenergebnis festgehalten werden, dass in Niedersachsen aufgrund der Beschränkungen des bergrechtlichen Anwendungsbereichs die Baubehörden anstelle der an sich fachlich näher stehenden Bergbehörden für die Prüfung der unterirdischen Speicherbecken zuständig sind.

Aus bauplanungsrechtlicher Sicht ist zu beachten, dass für den Bereich Wiemannsbucht ein Bebauungsplan besteht.<sup>123</sup> Gemäß § 30 Abs. 1 BauGB ist ein Vorhaben im Geltungsbereich eines Bebauungsplans, welcher allein oder gemeinsam mit sonstigen baurechtlichen Vorschriften mindestens Festsetzungen über die Art und das Maß der baulichen Nutzung, die überbaubaren Grundstücksflächen und die örtlichen Verkehrsflächen enthält, zulässig, wenn es diesen Festsetzungen nicht widerspricht und die Erschließung gesichert ist. Der Bebauungsplan sieht für die Art der Nutzung ein Gewerbegebiet gemäß § 8 BauNVO vor. Wie im Rahmen der allgemeinen Ausführungen festgestellt (vgl. oben 2.1.4.2), eignet sich ein solches für die Errichtung von unterirdischen Pumpspeicherwerken.

Aufgrund der ursprünglich angestrebten Nutzung wurde im Bebauungsplan festgelegt, dass auch neue Gebäude errichtet werden dürfen<sup>124</sup>, welche jedoch hinreichend Abstand zu den bestehenden Gebäudekomplexen der ehemaligen Schachanlage haben müssten, um deren Wirkung als „Zeugnis ehemaliger Bergbauepoche“ nicht einzuschränken; ein Anbau oder Ausbau der historischen Gebäude sollte so verhindert werden. Daneben wurde eine von der offenen Bauweise (vgl. § 22 Abs. 2 S. 2 BauNVO) abweichende Festlegung, nach der Baukörper auch über 50 m Länge möglich sind, getroffen. Für die Bestimmung

---

<sup>123</sup> Bebauungsplan Nr. 14 – „Wiemannsbucht“ der Bergstadt Bad Grund v. 7.3.1994 (Urschrift), in Kraft getreten am 3.11.1994. Abrufbar über Geoportal Osterode, <http://geoportal.landkreis-osterode.de/geoportal/>, zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011.

<sup>124</sup> Anmerkung: Unter anderem waren eine sog. Spannerhalle sowie Sortieranlagen vorgesehen.

des Maßes der baulichen Nutzung wurde unter Beachtung von § 17 Abs. 1 BauNVO eine Grundflächenzahl von GRZ 0,6 sowie die maximale Firsthöhe von 10,0 m der baulichen Anlagen über Gelände angegeben. Die Zahl der Vollgeschosse ist dabei auf zwei beschränkt.

Die Errichtung von Stellplätzen, Garagen und Nebenanlagen i.S.v. § 14 BauNVO ist in einem Abstand bis 10 m zu vorhandenen Gebäuden untersagt, um die Denkmaleigenschaft der ehemaligen Schachtanlage durch Neubauten in unmittelbarer Nähe der schutzwürdigen Gebäude nicht zu gefährden (vgl. auch die denkmalschutzrechtlichen Ausführungen unter 2.4.5).<sup>125</sup> Sollte eine neue Schachtanlage errichtet werden, wäre bei den Planungen hierauf zu achten.

#### 2.4.4.2 Aufhaldung von Gesteinsaushub

Bezogen auf die zeitweilige oder endgültige Aufhaldung von Gesteinsaushub an der Wiemannsbucht ist zunächst festzuhalten, dass Gesteinshalden als Aufschüttungen im Sinne des § 2 Abs. 1 S. 2 Nr. 4 NBauO einer baulichen Anlage gleichgestellt sind, da hierunter alle künstlichen Veränderungen der Geländeoberfläche, u.a. Halden, gehören.<sup>126</sup> Sie können daher in den Anwendungsbereich des Landesbauordnungsrechts fallen. Eine Anwendbarkeit des Bauordnungsrechts neben den Vorschriften zur Aufhaldung von Abfällen (vgl. oben 2.1.1.3 sowie 2.4.1) ist möglich.<sup>127</sup>

Bauplanungsrechtlich ist zu beachten, dass sich das Gelände, welches für die zumindest temporäre Aufhaldung des Gesteinsaushubs vorgesehen ist, außerhalb des Bebauungsplans befindet. Daher ist auf § 35 BauGB abzustellen. Da die Aufhaldung von größeren Gesteinsmassen allein im Außenbereich sinnvoll möglich ist, könnte eine solche Maßnahme unter § 35 Abs. 1 Nr. 4 BauGB gefasst werden.

Weiterhin ist zu beachten, dass § 38 S. 1 BauGB eine Sonderregelung für das Bauplanungsrecht enthält, sofern ein Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahren Anwendung findet, was hier in Betracht kommt. Einem untertägigen Pumpspeicherwerk Grund dürfte auch überörtliche Bedeutung zukommen. Im Falle eines Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahrens wäre daher keine strikte Prüfung der §§ 29ff. BauGB vorzu-

---

<sup>125</sup> Vgl. hierzu insgesamt die Begründung zum Bebauungsplan Nr. 14, aaO, S. 14.

<sup>126</sup> Große-Suchsdorf, NBauO, § 2 Rn. 16; siehe auch Rieger in: Schrödter, BauGB, § 29 Rn. 21.

nehmen, sondern die städtebaulichen Belange wären in der Gesamtabwägung im Rahmen des Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahrens zu berücksichtigen.

#### 2.4.4.3 Netzanbindung

Bei der Anwendung baurechtlicher Vorschriften hinsichtlich von Erdkabeln bzw. Hochspannungsfreileitungen ist zu beachten, dass die Leitungen vom Anwendungsbereich der Niedersächsischen Bauordnung gemäß § 3 Abs. 1 Nr. 3 NBauO ausdrücklich ausgenommen sind. Neue Masten können zwar als bauliche Anlage gemäß § 2 Abs. 1 Nr. 1 NBauO angesehen werden. Jedoch sind diese nach § 69 Abs. 1 i.V.m. Nr. 4.1 Anhang NBauO genehmigungsfrei gestellt; eine Baugenehmigung ist demnach nicht notwendig, was allerdings nicht von der Einhaltung genehmigungsrechtlicher Vorgaben entbindet.<sup>128</sup> Somit sind u.a. die bauplanungsrechtlichen Vorschriften der §§ 29ff. BauGB zu beachten. Vorliegend wäre durch die Freileitungstrasse der Außenbereich betroffen und damit die Regelung des § 35 BauGB zu prüfen. Gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB sind danach Freileitungstrassen privilegiert zu behandeln. Wiederum ist § 38 S. 1 BauGB zu berücksichtigen (oben 2.4.4.2).

#### 2.4.5 Denkmalschutzrecht

Hinsichtlich des Modellbergwerks Grund sind denkmalschutzrechtliche Belange zu prüfen. Da dies eine standortbezogene Besonderheit darstellt, finden sich hierzu keine Entsprechungen im allgemeinen rechtlichen Bearbeitungsteil.

Denkmalschutzrecht ist Landesrecht. Das niedersächsische Denkmalschutzrecht findet auf Kulturdenkmale nach § 3 NDSchG Anwendung. Diese unterliegen den Beeinträchtigungsverboten der §§ 6, 8 NDSchG, von denen nur in den engen Ausnahmen des § 7 NDSchG abgewichen werden darf. Für derartige Eingriffe in Kulturdenkmale ist nach § 10 NDSchG eine denkmalschutzrechtliche Genehmigung notwendig.

---

<sup>127</sup> Große-Suchsdorf, NBauO, § 2 Rn. 17.

<sup>128</sup> Germer/Loibl, S. 557.

#### 2.4.5.1 Vorliegen eines Kulturdenkmals i.S.v. § 3 NDSchG

Für das Modellbergwerk Grund sind die Voraussetzungen eines Kulturdenkmals in der Form eines Baudenkmals zu prüfen. Baudenkmale sind gemäß § 3 Abs. 2 NDSchG bauliche Anlagen i.S.v. § 2 Abs. 1 NBauO, Teile baulicher Anlagen und Grünanlagen, an deren Erhaltung wegen ihrer geschichtlichen, künstlerischen, wissenschaftlichen oder städtebaulichen Bedeutung ein öffentliches Interesse besteht. Gemäß § 3 Abs. 3 NDSchG ist Baudenkmal auch eine Gruppe baulicher Anlagen, die aus den in § 3 Abs. 2 NDSchG genannten Gründen erhaltenswert ist, unabhängig davon, ob die einzelnen baulichen Anlagen für sich Baudenkmale sind. Pflanzen, Frei- und Wasserflächen in der Umgebung eines Baudenkmals und Zubehör eines Baudenkmals gelten als Teile des Baudenkmals, wenn sie mit diesem eine Einheit bilden, die aus den in § 3 Abs. 2 NDSchG genannten Gründen erhaltenswert ist.

Für die Einordnung als Kulturdenkmal ist in Niedersachsen schon die Erfüllung der Tatbestandsvoraussetzungen des Denkmalsbegriffes ausreichend; die Eintragung eines Kulturdenkmals in ein Denkmalverzeichnis hat gemäß § 5 S. 1 NDSchG lediglich deklaratorischen Charakter.<sup>129</sup> Zur Beurteilung des Denkmalwerts ist daher nach Auffassung des Niedersächsischen Obergerichts Fachwissen erforderlich, es kommt auf das Urteil eines sachverständigen Betrachters an.<sup>130</sup> Dieses Fachwissen vermittelt in erster Linie das Niedersächsische Landesamt für Denkmalpflege.

Hinweise zur denkmalschutzrechtlichen Situation am Modellbergwerk Grund vermittelt der bestehende Bebauungsplan für die Wiemannsbucht.<sup>131</sup> Aus diesem geht hervor, dass nach Einschätzung und Beratung durch das Landesamt für Denkmalpflege (vgl. § 21 NDSchG) die gesamte Anlage „Wiemannsbucht-Schacht“ als typische Architektur der 50er Jahre und Bestandteil der Oberharzer Bergbauepoche für kulturhistorisch bedeutend und erhaltenswert erachtet wurde.<sup>132</sup> Damit fällt die Schachanlage Wiemannsbucht, bestehend aus Verwaltungsgebäude, Wohngebäude, Schacht und Maschinenhaus, als eine Gruppe baulicher Anlagen nach § 3 Abs. 3 NDSchG unter den Begriff des Kulturdenkmals. Zudem sind die unterirdischen Anlagen des Bergwerks sowie insbesondere der Ernst-

---

<sup>129</sup> Schmaltz/Wiechert, NDSchG, §§ 4, 5 Rn. 12.

<sup>130</sup> St. Rspr., vgl. OVG Lüneburg, Urt. v. 30.6.2009, AZ: 7 KS 186/06, in: NdsVBl 2010, 11 (13) m.w.N.; vgl. auch Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 3 Rn. 26.

<sup>131</sup> Bebauungsplan Nr. 14 – „Wiemannsbucht“ der Bergstadt Bad Grund v. 7.3.1994, aaO.

<sup>132</sup> Vgl. Begründung zum Bebauungsplan Nr. 14, aaO, S. 3.

August-Stollen als tiefster Wasserlösungsstollen nach Auskunft des Landkreises Osterode unter den Denkmalbegriff zu fassen.

Daher sind bei einer möglichen Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks die Vorschriften zum niedersächsischen Denkmalschutzrechts zu beachten. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass der Ernst-August-Stollen als Bestandteil des Weltkulturerbes „Oberharzer Wasserregal“ zu zählen ist, so dass die denkmalschutzrechtliche Prüfung besonders sensibel durchzuführen ist.

#### 2.4.5.2 Beeinträchtigungsverbot gemäß § 6 Abs. 2 NDSchG

Gemäß § 6 Abs. 2 NDSchG dürfen Kulturdenkmale u.a. nicht zerstört oder so verändert werden, dass ihr Denkmalwert beeinträchtigt wird. Eine Beeinträchtigung ist in aller Regel zu bejahen, wenn Teile der historischen Substanz des Denkmals zerstört oder entfernt oder charakteristische Merkmale seines Äußeren verändert oder beseitigt werden.<sup>133</sup> Neubauten auf Freiflächen, die innerhalb eines Denkmalensembles i.S.v. § 3 Abs. 3 NDSchG liegen, sind ebenfalls unzulässig, wenn sie die erhaltenswerten Eigentümlichkeiten des Ganzen beeinträchtigen.<sup>134</sup>

Für die Zeit der Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerkes wären an der Wiemannsbucht zum Teil erhebliche Bauarbeiten notwendig. Für den Transport der Maschinenteile über den Wiemannsbuchtschacht nach unter Tage ist die derzeitige Förderanlage nicht ausgelegt; aufgrund der Schwere einzelner Komponenten müsste daher die Förderanlage in der Phase der Errichtung teilweise abgebaut und eine temporäre Konstruktion installiert werden, wobei minimalinvasiv vorgegangen werden soll. Danach kann die vorhandene Schachtförderanlage nach Generalüberholung in mechanischer und elektrischer Hinsicht wieder benutzt werden. Nach der Bauphase würde daher das denkmalgeschützte Gebäude wieder in den derzeitigen Stand versetzt werden. Optische Veränderungen wären in diesem Punkt nur in sehr geringem Maße zu erwarten.

Hinsichtlich des Gebäudebestands wäre eine Umnutzung notwendig. So wären unter anderem die Schachtförderanlage wieder in Betrieb zu nehmen sowie für ein Pumpspei-

---

<sup>133</sup> OVG Lüneburg, Urt. v. 24.9.1993, AZ: 1 L 6544/95, in: NdsVBl 1997, 263; Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 6 Rn. 12.

<sup>134</sup> Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 6 Rn. 17.



cherwerk notwendige Einrichtungen (insbesondere Leitwarte sowie Büro- und Sozialräume) vorzusehen. Die noch aus Bergwerksbetriebszeiten vorhandenen elektrischen Anlagen (Mittelspannungsschaltanlagen, Niederspannungsschaltanlagen, Transformator) würden durch den Stand der Technik entsprechende Anlagen ersetzt und um ein Notstromaggregat erweitert werden.

Vom bestehenden Ernst-August-Stollen müsste zudem eine Verbindung zum unterirdischen Pumpspeichersystem geschaffen werden, damit die Erstbefüllung eines Speicherbeckens vorgenommen sowie regelmäßig anfallendes überschüssiges Wasser abgeleitet werden kann.

Die hier aufgeführten Baumaßnahmen könnten im Einzelfall zu einer Beeinträchtigung des Denkmalwertes führen. Daher sind diese nach dem strengen Wortlaut des § 6 Abs. 2 NDSchG grundsätzlich unzulässig. Etwas anderes kann sich jedoch ergeben, sofern die Ausnahmegvorschrift des § 7 NDSchG eingreift (siehe unten 2.4.5.4).

#### 2.4.5.3 Verbot der Beeinträchtigung der Denkmalumgebung gemäß § 8 NDSchG

Neben den Eingriffen, die die bestehenden Baudenkmale direkt betreffen, ist auch eine Beeinträchtigung der Denkmalumgebung zu prüfen. Insoweit ist § 8 NDSchG zu beachten, welcher den Grundsatz des denkmalrechtlichen Umgebungsschutzes statuiert. Nach dieser Vorschrift dürfen in der Umgebung eines Baudenkmals keine Anlagen errichtet, geändert oder beseitigt werden, wenn dadurch das Erscheinungsbild des Baudenkmals beeinträchtigt wird. Hinzutretende bauliche Anlagen müssen sich an dem Maßstab messen lassen, den das Baudenkmal gesetzt hat und dürfen es gleichsam nicht erdrücken, verdrängen, übertönen oder die gebotene Achtung gegenüber den Werten außer Acht lassen, welche dieses Denkmal verkörpert.<sup>135</sup> Vielmehr darf die jeweilige besondere Wirkung eines Baudenkmals, die es als Zeuge der Geschichte auf den Beschauer ausübt, nicht geschmälert werden.<sup>136</sup> Bei welchen Abständen das Erscheinungsbild eines Denkmals beeinträchtigt wird, lässt sich dabei nicht allgemein bestimmen, sondern hängt von den jeweiligen Umständen des Einzelfalls ab.<sup>137</sup>

---

<sup>135</sup> OVG Lüneburg, Urt. v. 5.9.1985, AZ: 6 A 54/83, in: OVGE 39, 323; OVG Lüneburg, Beschl. v. 14.3.2007, AZ: 1 ME 226/06, in: ZfBR 2007, 476; Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 8 Rn. 6.

<sup>136</sup> OVG Lüneburg, NdsVBl 2010. 649 (657); Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 8 Rn. 6.

<sup>137</sup> OVG Lüneburg, NdsVBl 2008, 171 (172); OVG Lüneburg, NdsVBl 2010. 649 (657).

Hinsichtlich der durchzuführenden notwendigen bergbaulichen Arbeiten sind Angaben über Menge, Zustand und Verwendungsmöglichkeiten des Aushubmaterials in diesem Stadium noch nicht abschließend bekannt. Ausgegangen wird von einem Aushubvolumen von ca. 1 Million m<sup>3</sup>, wobei der Haldenstandort an der Wiemannsbucht eine solche Kapazität nicht aufweist (vgl. Teilbericht Bergbau). Inwieweit eine temporäre oder (teilweise) dauerhafte Aufhaldung angedacht werden kann, kann daher nicht abschließend beurteilt werden. Zudem müssten zwei weitere Schächte (zum einen als zusätzliche Transport-, Bewetterungs- und Fluchtmöglichkeit sowie zum anderen für die Führung des 110-kV-Kabels von der Maschinenkaverne hin zur Oberfläche) an der Wiemannsbucht abgeteuft werden. Der erste Schacht müsste, kleiner als beim Wiemannsbuchtschacht vorhanden, ebenfalls eine Fördereinrichtung zum Personentransport erhalten. Sofern eine Hochspannungsfreileitung zwischen Wiemannsbucht und dem Umspannwerk Münchehof angedacht wird, würden sich deutliche Veränderungen in der Umgebung des Baudenkmals ergeben. So wäre entweder ein umzäuntes Freiluft-Schaltfeld (20m x 10m bei einer Höhe von ca. 10m) oder ein umzäunter Kabel-Freileitung-Übergang (10m x 5m bei einer Höhe von ca. 15m, da der erste Mast als Kabelüberleitungsmast fungieren würde) sowie in jedem Fall entsprechende Masten, die von der Wiemannsbucht nach Norden führen, notwendig. Hinsichtlich der Masten müsste, sofern der Baumbewuchs auf der Trassenführung nicht beeinträchtigt werden soll, von einer Mastenhöhe von bis zu 80m ausgegangen werden. Ansonsten müsste mit einer Mastenhöhe von immer noch rund 30m gerechnet werden. Falls kein Schaltfeld vor Ort notwendig sein sollte, wäre der erste Mast als sog. Kabelübergangsmast auszuführen.

Sofern eine Verlegung als Kabel präferiert wird, wären hinsichtlich der Netzanbindung allenfalls sehr geringe Beeinträchtigungen der Oberfläche im Bereich der Wiemannsbucht zu erwarten.

Im Ergebnis könnten vom Bau einer neuen Hochspannungsfreileitung, der Errichtung von neuen Schachtanlagen sowie von der Vergrößerung der Halde Beeinträchtigungen für das Denkmalensemble ausgehen. Damit besteht ebenfalls bezüglich des denkmalrechtlichen Umgebungsschutzes die Gefahr, dass die notwendigen Baumaßnahmen aufgrund § 8 NDSchG ausgeschlossen sind. Ausnahmemöglichkeiten können sich gemäß § 8 S. 3 NDSchG wiederum aus der Ausnahmegvorschrift des § 7 NDSchG ergeben (dazu sogleich).

#### 2.4.5.4 Ausnahmemöglichkeiten gemäß § 7 NDSchG

Die unter 2.4.5.2 und 2.4.5.3 dargestellten Maßnahmen führen nach den Regelungen der §§ 6, 8 NDSchG grundsätzlich zur Unzulässigkeit des Vorhabens, sofern eine Beeinträchtigung des Baudenkmals zu bejahen ist. Ausnahmen können nur aufgrund der Vorschrift des § 7 NDSchG zugelassen werden. Außer in den unter § 7 Abs. 2 NDSchG aufgeführten Ausnahmen dürfen grundsätzlich keine Eingriffe in Kulturdenkmale erfolgen; ein allgemeiner Vorbehalt der Abwägung mit privaten Gegeninteressen besteht nach dem NDSchG nicht.<sup>138</sup> Der niedersächsische Denkmalschutz ist daher verglichen mit anderen Bundesländern als streng zu bezeichnen.<sup>139</sup>

In Betracht kommt vorliegend nur<sup>140</sup> § 7 Abs. 2 Nr. 2 NDSchG. Danach ist ein Eingriff in ein Kulturdenkmal zu genehmigen, soweit ein überwiegendes öffentliches Interesse anderer Art den Eingriff zwingend verlangt. Ein solches Interesse kann gegeben sein, wenn das Denkmal einem staatlichen oder kommunalen Vorhaben im Wege steht.<sup>141</sup> Als ein Beispiel wird in der Kommentarliteratur ein Straßenausbauvorhaben genannt.<sup>142</sup> Ein Vorhaben zur Sicherung der Energieversorgung könnte ein solches überwiegendes öffentliches Interesse ebenfalls begründen. Abzuwägen sind einerseits die Bedeutung und Erhaltungswürdigkeit des Denkmals, andererseits die gegenläufigen öffentlichen Interessen. An die entgegenstehenden öffentlichen Interessen müssen aufgrund der Formulierung des § 7 Abs. 2 NDSchG („zwingend verlangen“) strenge Anforderungen gestellt werden. Die Formulierung „soweit“ macht deutlich, dass nachteilige Eingriffe in das Baudenkmal auf das jeweils unvermeidliche Mindestmaß zu beschränken sind.<sup>143</sup>

Nach Auskunft des Landkreises Goslar bestehen gegenüber einem unterirdischen Pumpspeicherwerk auf dem Gelände der Wiemannsbucht überwiegend keine durchgreifenden denkmalschutzrechtlichen Bedenken. Dies betrifft insbesondere den Abbau und den Wiederaufbau des Fördergerüsts. Die erforderlichen optischen Veränderungen müssten im Einzelfall diskutiert werden. Gleiches gilt für eine Umnutzung der Gebäude. Im Übrigen muss sichergestellt sein, dass durch die über- und untertägigen Arbeiten keine irrepa-

---

<sup>138</sup> Rüsch, NdsVBl 2008, 113.

<sup>139</sup> Wiechert, NdsVBl 2008, 115 (116f.).

<sup>140</sup> § 7 Abs. 2 Nr. 1 NDSchG, der einen Eingriff zulässt, soweit dieser aus wissenschaftlichen Gründen im öffentlichen Interesse liegt, ist nicht einschlägig, da hier ein geschichtswissenschaftliches Interesse gemeint ist; vgl. Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 7 Rn. 4.

<sup>141</sup> VGH Mannheim, Urt. v. 10.10.1989, AZ: 1 S 736/88; Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 7 Rn. 5.

<sup>142</sup> Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 7 Rn. 5.

rablen Schäden an dem Baudenkmalensemble entstehen. Dies gilt insbesondere für die Bereiche, die unter das Weltkulturerbe „Oberharzer Wasserregal“ fallen.

Einzig die Errichtung einer Hochspannungsfreileitung, welche unmittelbar an das denkmalgeschützte Ensemble heranreicht, könnte aus denkmalschutzrechtlichen Gesichtspunkten voraussichtlich nicht genehmigt werden. Eine solche Anlage würde in der Umgebung des Baudenkmals als Fremdkörper und als unvereinbar mit den Werten empfunden werden, die das Denkmal verkörpert.<sup>144</sup> Insofern ist beabsichtigt, das 110 kV-Kabel zumindest in der Nähe des denkmalgeschützte Ensembles als Erdleitung fortzuführen. In größerem Abstand könnte auch eine Freileitung gewählt werden.

#### 2.4.5.5 Verhältnis zu anderen Genehmigungen

Hinsichtlich der dargestellten und durch § 7 Abs. 2 Nr. 2 NDSchG erfassten Beeinträchtigungen des Denkmalensembles ist eine denkmalschutzrechtliche Genehmigung gemäß § 10 Abs. 1 NDSchG notwendig. Sofern für die benannten Maßnahmen eine Baugenehmigung oder eine die Baugenehmigung einschließende oder ersetzende behördliche Entscheidung (zum Beispiel ein Planfeststellungsbeschluss<sup>145</sup>) erforderlich ist, so umfasst gemäß § 10 Abs. 4 NDSchG diese Entscheidung die denkmalschutzrechtliche Genehmigung nach § 10 Abs. 1 NDSchG. Dies wäre vorliegend der Fall.

#### 2.4.5.6 Zwischenergebnis

Wesentliche Teile der Schachtanlage Wiemannsbuchtschacht sind als Baudenkmal nach niedersächsischem Denkmalschutzrecht geschützt. Für die erforderlichen Maßnahmen bei der Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerkes bedarf es daher einer Genehmigung nach § 10 Abs. 1 NDSchG, die im Rahmen der Baugenehmigung bzw. eines diese ersetzenden Planfeststellungsbeschlusses zu erteilen wäre. Die erforderlichen überwiegenden öffentlichen Belange könnten im Falle eines untertägigen Pumpspeicherwerkes voraussichtlich bejaht werden. Lediglich eine Hochspannungsfreileitung erscheint aus

---

<sup>143</sup> Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 7 Rn. 5.

<sup>144</sup> OVG Lüneburg, NdsVBl 2010, 649 (658).

<sup>145</sup> Schmaltz/Wiechert, NDSchG, § 10 Rn. 19.

denkmalschutzrechtlicher Sicht in der Nähe des denkmalgeschützten Ensembles nicht genehmigungsfähig.

#### **2.4.6           Energiewirtschaftsrecht**

Genehmigungsrechtliche Anforderungen können sich auch hinsichtlich der Netzanbindung ergeben. Nach bergbaulichen und energiesystemtechnischen Überlegungen werden zwei Varianten zur Netzanbindung diskutiert. Zum einen wird eine Teilverkabelung, zum anderen eine Vollverkabelung in Betracht gezogen (vgl. im Teilbericht Bergbau sowie im Teilbericht Energiesystemtechnik). Jeweiliger Netzanschlusspunkt ist das Umspannwerk Münchehof. Von einer reinen Freileitungsanbindung wurde aufgrund der bestehenden denkmalschutzrechtlichen Bedenken Abstand genommen (vgl. oben 2.4.5.4).

##### **2.4.6.1           Variante 1 (Teilverkabelung)**

Bei dieser Variante wird vom Modellbergwerk Grund aus ein 110-kV-Erdkabel auf einer Gesamtlänge von ca. 6 km verlegt, das zu der nördlich gelegenen bestehenden Hochspannungsfreileitung der E.ON Netz GmbH verläuft. Von dort ist eine Paralleltrassierung mit einer Gesamtlänge von weiteren 6 km bis zum Umspannwerk Münchehof angedacht.

Für den Freileitungsabschnitt ist gemäß § 43 S. 1 Nr. 1 EnWG grundsätzlich ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen. Allerdings kann der Vorhabenträger gemäß § 43b Nr. 2 EnWG eine bloße Plangenehmigung beantragen, wenn eine Umweltverträglichkeitsprüfung nicht durchzuführen ist. Dies ist bei der hier relevanten Leitungslänge und Spannungsebene nach Nr. 19.1.3 Anlage 1 UVPg aufgrund einer allgemeinen Vorprüfung des Einzelfalls zu entscheiden (dazu oben 2.1.7.2). Für den Erdleitungsabschnitt ist ein Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahren bundesrechtlich nur in Ausnahmefällen vorgesehen, die vorliegend nicht einschlägig sind. Auch das niedersächsische Erdkabelgesetz ist vorliegend bereits deshalb unanwendbar, weil es nur Hochspannungsleitungen mit einer Nennspannung von mehr als 110 kV erfasst (vgl. oben 2.1.6). Für die vorliegend geplante Erdverkabelung bleibt es damit bei der herkömmlichen Rechtssituation, dass kein Planfeststellungsverfahren durchzuführen ist, sondern Einzelgenehmi-

gungen erforderlich sind.<sup>146</sup> Denkbar sind insbesondere naturschutz- und wasserrechtliche Genehmigungen.

#### 2.4.6.2 Variante 2 (Vollverkabelung)

Nach dieser Variante ist eine durchgehende Kabeltrasse geplant. Der erste Abschnitt (Abführung des Kabels von der Wiemannsbucht und entlang der bestehenden Gasleitungstrasse) ist deckungsgleich zu Variante 1. Abweichend hiervon wird der Gasleitungstrasse auf einer längeren Strecke gefolgt. Anschließend erfolgt eine Trassierung entlang der Bundesstraße 242 sowie der Kreisstraße 64 bis zum Umspannwerk Münchehof.

Grundsätzlich kann hier auf die vorigen Ausführungen zur Teilverkabelung unter Variante 1 (vgl. unter 2.4.6.1) verwiesen werden.

Hinsichtlich der Trassenführung an Bundes- und Kreisstraßen wären darüber hinaus straßenrechtliche Vorschriften zu beachten. So benötigen gemäß § 24 Abs. 2 NStrG Baugenehmigungen oder nach anderen Vorschriften notwendige Genehmigungen der Zustimmung der Straßenbehörde, wenn bauliche Anlagen längs der Landes- oder Kreisstraßen in einer Entfernung von bis zu 40m, gemessen vom äußeren Rand der für den Kraftfahrzeugverkehr bestimmten Fahrbahn, errichtet werden sollen. Nach § 24 Abs. 5 NStrG benötigen bauliche Anlagen im Sinne des § 24 Abs. 2 NStrG, welche keiner Bauanzeige, Baugenehmigung oder Genehmigung nach anderen Vorschriften bedürfen, statt einer Zustimmung der Genehmigung der zuständigen Straßenbehörde. Leitungen, die der öffentlichen Versorgung mit Elektrizität dienen, sind gemäß § 3 Abs. 1 Nr. 3 NBauO von der Bauordnung ausgenommen (vgl. unter 2.4.4.3). Hierunter sind auch im Erdboden verlegte Leitungen zu fassen.<sup>147</sup> Daher wäre, sofern das Erdkabel innerhalb der unter § 24 Abs. 2 Nr. 1 NStrG genannten Entfernung zur Straße von 40m verlegt werden soll, eine Genehmigung der Straßenbaubehörde einzuholen.

---

<sup>146</sup> Schneller, DVBl 2007, 529 (535).

<sup>147</sup> Wendrich, NStrG, § 24 Rn. 15.

## **2.4.7 Weitere genehmigungsrechtlich relevante Rechtsgebiete**

### **2.4.7.1 UVP-Recht**

Wie ausgeführt, ist für bestimmte Vorhaben eine Umweltverträglichkeitsprüfung vorgeschrieben oder zumindest zu prüfen, ob eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich ist. Im Folgenden werden die Vorhaben betrachtet, die zu einer Umweltverträglichkeitsprüfung führen können. Dabei wird unterschieden zwischen dem unterirdischen Pumpspeicherwerk selbst, einer notwendigen Netzanbindung sowie dem ggf. temporär aufzuhaltenden Gesteinsaushub. Maßgeblich ist das bundesrechtliche UVPG. Landesrechtliche Besonderheiten in Gestalt des NUVPG, welches neben dem UVPG anwendbar ist, sind vorliegend nicht ersichtlich.

#### **2.4.7.1.1 Untertägige Pumpspeichieranlage**

##### **2.4.7.1.1.1 Tatbestände der Anlage 1 UVPG**

Im Rahmen eines untertägigen Pumpspeicherwerks kommen, wie im allgemeinen Teil ausgeführt (siehe oben 2.1.6), mehrere Vorhaben i.S.d. Anlage 1 UVPG in Betracht. Eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls ist hinsichtlich des Baus einer Wasserkraftanlage vorzunehmen (Nr. 13.14). Bezogen auf die Speicherbecken ist von einer Größe von ca. 150.000 bis zu ca. 300.000 m<sup>3</sup> pro Becken auszugehen. Dies würde nach Nr. 19.9.3 Anlage 1 UVPG (Errichtung und Betrieb eines künstlichen Wasserspeichers mit 5000 m<sup>3</sup> bis weniger als 2 Mio. m<sup>3</sup> Wasser) eine standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls verlangen.

Hinsichtlich einer etwaigen Grundwasserentnahme zur Befüllung der Speicherbecken wäre im Hinblick auf deren Größe von einem Volumen zwischen 100.000 und 10 Mio. m<sup>3</sup> Wasser auszugehen, was eine Pflicht zur allgemeinen Vorprüfung des Einzelfalls begründet (Nr. 13.3.2). Die Wasserableitung würde sich voraussichtlich auf eine Gesamtabführung von ca. 4.000 bis 5.000 m<sup>3</sup> Wasser pro Tag aus dem Ernst-August-Stollen belaufen (vgl. Teilbericht Umweltauswirkungen, welcher Bezug auf das Ende des Betriebes als Erzbergwerk im Jahre 1992 nimmt). Damit ergäbe sich eine jährliche Gesamtmenge zwischen 1.460.000 und 1.825.000 m<sup>3</sup> Wasser, was gleichfalls eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls nach Nr. 13.3.2 erforderlich machen würde.



#### 2.4.7.1.1.2 Einzelfallprüfung anhand § 3c i.V.m. Anlage 2 UVPG

Aufgrund einer allgemeinen Vorprüfung des Einzelfalls ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung nach § 3c S. 1 UVPG erst dann durchzuführen, wenn das Vorhaben nach Einschätzung der zuständigen Behörde aufgrund überschlägiger Prüfung unter Berücksichtigung der in der Anlage 2 UVPG aufgeführten Kriterien erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen haben kann, die in der Bewertung der Umweltauswirkungen nach § 12 UVPG zu berücksichtigen wären. Sofern für ein Vorhaben mit geringer Größe oder Leistung eine standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls vorgesehen ist, gilt gemäß § 3c S. 2 Gleiches, wenn trotz der geringen Größe oder Leistung des Vorhabens nur aufgrund besonderer örtlicher Gegebenheiten gemäß den in der Anlage 2 Nr. 2 aufgeführten Schutzkriterien erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen zu erwarten sind. Bei der allgemeinen Vorprüfung nach § 3c S. 4 UVPG ist dabei auch zu berücksichtigen, inwieweit Prüfwerte für Größe oder Leistung, die die Vorprüfung eröffnen, überschritten werden.

Errichtung und Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes begründen in vieler Hinsicht geringere Umweltbedenken als im Falle obertägiger Pumpspeicherwerke. Auch liegen die Volumina der Speicherbecken (Nr. 19.9.3 Anlage 1 UVPG) sowie der Wasserentnahme und -ableitung (Nr. 13.3.2) deutlich unter den dort genannten Obergrenzen. Andererseits wird Wasser in nicht unerheblichem Umfang dauerhaft genutzt und es muss aufgrund einer neuen Grundwasserhaltung stetig überschüssiges Wasser über den Ernst-August-Stollen in den natürlichen Wasserkreislauf abgeleitet werden. Insbesondere die unbekannte aktuelle Wasserqualität und die nicht geklärten Auswirkungen der Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks auf die Wasserqualität sprechen daher für die Vornahme einer Umweltverträglichkeitsprüfung, da aufgrund des möglicherweise bestehenden Schadstoffgehaltes erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen bestehen könnten. Näheres zu Wasserqualität findet sich auch im Teilbericht Umweltauswirkungen, in welchem ebenfalls von einer Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung ausgegangen wird (siehe unter 3.1).

#### 2.4.7.1.2 Netzanbindung

Im Falle einer Erdverkabelung ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung von vornherein nicht vorgesehen. Sofern daher eine Vollverkabelung erfolgt, wäre eine Prüfung der Umweltverträglichkeit der Netzanbindung insgesamt nicht notwendig.

Im Falle einer Teilverkabelung wäre aus Umweltverträglichkeitsprüfungsgesichtspunkten nur der Abschnitt relevant, der eine Hochspannungsfreileitung vorsieht. Dies wäre vorliegend ein ca. 6 km langer Abschnitt parallel zu einer schon bestehenden Hochspannungstrasse der E.ON Netz GmbH, welche sich nördlich des Modellbergwerks befindet. Gemäß Nr. 19.1.3 der Anlage 1 UVPG besteht für die Errichtung und den Betrieb einer Hochspannungsfreileitung mit einer Länge von 6 km keine allgemeine Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Vielmehr ist eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls nach § 3c i.V.m. Anlage 2 UVPG durchzuführen.

Einige Kriterien für die Vorprüfung des Einzelfalls gemäß Anlage 2 UVPG sollen an dieser Stelle kurz angesprochen werden. So könnten im Rahmen der geplanten Hochspannungsfreileitung u.a. die Größe des Vorhabens (Nr. 1.1) eine Rolle spielen. Dabei ist zu beachten, dass die Länge der Hochspannungsfreileitung mit 6 km nur knapp über dem Eröffnungswerte der Nr. 19.1.3 Anlage 1 UVPG (5 bis 15 km) liegt. Dies spräche tendenziell gegen die Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Der Umstand, dass die neue Hochspannungsfreileitung parallel zu einer bereits bestehenden Leitungstrasse verlaufen soll, könnte tendenziell ebenfalls gegen eine Umweltverträglichkeitsprüfung sprechen, da durch die Nutzung einer bereits bestehenden Trasse ein geringerer Eingriff besteht als bei Durchführung einer Neutrassierung, die ihrerseits zu einer weiteren Zerschneidung des Raumes führen würde. Für eine Umweltverträglichkeitsprüfung könnte nach Nr. 2.3.4 Anlage 2 UVPG hingegen sprechen, dass die Trassierung durch das Landschaftsschutzgebiet Harz verläuft. Daneben wird zu berücksichtigen sein, wie groß die Masten gestaltet werden, da auch die Nutzung und Gestaltung der Landschaft nach Nr. 1.2 Anlage 2 UVPG ein zu berücksichtigendes Merkmal darstellt.

Eine Entscheidung über die Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung ist daher nur im konkretisierten Einzelfall möglich. Nach derzeitigen Informationen erscheint insbesondere unter Rückgriff auf die Leitungslänge sowie den Umstand, dass eine schon bestehende Trasse genutzt wird, vertretbar, eine Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung hinsichtlich der Netzanbindung zu verneinen.

#### 2.4.7.1.3 Aufhaldung von Gesteinsaushub

Für den Fall, dass eine Aufhaldung von Gesteinsaushub vorgenommen werden soll, ist zu unterscheiden, ob dies endgültig (dann Prüfung von Nr. 12 Anlage 1 UVPG) oder tempo-

rär (dann Prüfung von Nr. 8.9 Anlage 1 UVPg) geschehen soll. Zusätzlich muss zwischen gefährlichem (für den bislang keine Anhaltspunkte vorliegen) und nicht gefährlichem Abfall sowie nach der anfallenden Menge differenziert werden (vgl. hierzu auch die allgemeinen Ausführungen oben 2.1.6.2). Vorliegend können hierzu im Rahmen einer Machbarkeitsstudie keine tiefergehenden Aussagen getroffen werden. Dies wäre im Falle einer etwaigen Realisierung zu vertiefen.

#### 2.4.7.2 Naturschutzrecht

Naturschutzrechtliche Fragen werden insbesondere im Teilbericht Umweltauswirkungen behandelt. An dieser Stelle soll nur auf Genehmigungsfragen bezogen auf möglicherweise betroffene Schutzgebiete eingegangen werden. Dies ist zum einen das Landschaftsschutzgebiet Harz, zum anderen das FFH-Gebiet Iberg.

##### 2.4.7.2.1 Landschaftsschutzgebiet Harz

Das Modellbergwerk Grund selbst befindet sich im Geltungsbereich des Bebauungsplans „Wiemannsbucht“ (siehe oben unter 2.4.4.1). Für die geplante Netzanbindung allerdings ist es notwendig, dass mittels Erdkabel bzw. ggf. teilweise mittels Freileitung das Landschaftsschutzgebiet Harz durchquert wird, wie im Teilbericht Bergbau näher beschrieben.

Gemäß § 26 Abs. 1 BNatSchG sind Landschaftsschutzgebiete rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen ein besonderer Schutz aus den in den Nr. 1-3 genannten Gründen erforderlich ist. In Landschaftsschutzgebieten besteht ein nur relatives Veränderungsverbot.<sup>148</sup> Schutzzweck, unter Erlaubnisvorbehalt stehende Handlungen sowie Verbote sind in entsprechenden Rechtsverordnungen über das Landschaftsschutzgebiet Harz für den Landkreis Osterode sowie den Landkreis Goslar näher ausgestaltet.

##### 2.4.7.2.1.1 Verordnung über das Landschaftsschutzgebiet Harz (Landkreis Osterode)

Im Schutzgebietsbereich des Landkreises Osterode ist nach bergbaulichen bzw. energiesystemtechnischen Angaben (siehe u.a. im Teilbericht Bergbau) für beide betrachteten

---

<sup>148</sup> Schumacher/Schumacher/Fischer-Hüftle in Schumacher/Fischer-Hüftle, BNatSchG, § 26 Rn. 21.

Varianten eine Erdverkabelung vorgesehen. Die Verordnung über das Landschaftsschutzgebiet Harz (Landkreis Osterode)<sup>149</sup> enthält kein Verbot der Erdverkabelung, stellt diese jedoch unter Erlaubnisvorbehalt. So ist gemäß § 4 Abs. 1 Nr. 1 der Verordnung bei der Errichtung ortsfester Draht- und Rohrleitungen, auch wenn die Handlungen keiner baurechtlichen Entscheidung bedürfen, die vorherige Erlaubnis der unteren Naturschutzbehörde einzuholen. Erfasst werden offenbar auch unterirdische Stromleitungen, denn § 7 Nr. 4 der Verordnung sieht ausdrücklich vor, dass die Unterhaltung und Instandsetzung von ober- und unterirdischen Ver- und Entsorgungsleitungen keinen Einschränkungen aufgrund der Verordnung unterliegen. Die Errichtung unterirdischer Versorgungsleitungen aller Art ist damit aber – anders als Unterhaltung und Instandsetzung – nicht freigestellt. Entsprechend stellt § 4 Abs. 1 Nr. 7 Hs. 2 der Verordnung klar, dass Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen an Flurgehölzen zur Freihaltung ober- und unterirdischer Ver- und Entsorgungsleitungen zulässig sind, erfasst aber nicht die erstmalige Anlage einer Erdkabeltrasse.

Die Erlaubnis wird gemäß § 4 Abs. 2 der Verordnung auf Antrag erteilt, wenn der Charakter des Landschaftsschutzgebietes und der besondere Schutzzweck nicht beeinträchtigt werden. Eine Erlaubniserteilung ist im Einzelfall zu prüfen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Verlegung eines Erdkabels nur sehr beschränkte Einwirkungen auf den Boden erfordert und anschließend nur eine schmale Schneise von tiefer wurzelnden Gewächsen freigehalten werden muss. Eine Erteilung der Erlaubnis wird von der zuständigen Naturschutzbehörde daher nach derzeitigem Stand als wahrscheinlich erachtet.

Sofern die renaturierte Halde nördlich der Wiemannsbucht zur temporären oder endgültigen Aufhaldung von bei der Auffahrung der Speicherbecken anfallendem Aushubmaterial genutzt werden soll, ist zu beachten, dass sich diese nicht mehr im Geltungsbereich des Bebauungsplans „Wiemannsbucht“, sondern ebenfalls im Landschaftsschutzgebiet Harz befindet. Anwendung findet daher das Verbot nach § 5 Nr. 2 der Verordnung, die sonstige Bodengestalt zu verändern, soweit dies nicht dem Abbau von Bodenschätzen in festgelegten Vorranggebieten nach dem Regionalen Raumordnungsprogramm dient. Anders als die entsprechende Landschaftsschutzgebietsverordnung für den Landkreis Goslar

---

<sup>149</sup> Neufassung der Verordnung über das Landschaftsschutzgebiet Harz (Landkreis Osterode am Harz) vom 11.4.1994, zuletzt geändert durch Gesetz vom 11.2.1998; im Internet abrufbar unter dem Geoportal Osterode, <http://geoportal.landkreis-osterode.de/geoportal>, zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011.

(dort § 6 Abs. 1 Nr. 13, zu dieser Verordnung unten 2.4.7.2.1.2) sieht diejenige des Landkreises Osterode also nicht nur einen Erlaubnisvorbehalt, sondern ein repressives Verbot vor. Da die Ausnahme für den Abbau von Bodenschätzen vorliegend nicht in Betracht kommt, bleibt nur die Möglichkeit einer Befreiung. Die in § 6 der Verordnung angesprochene Befreiungsmöglichkeit nach § 53 des am 1.3.2009 außer Kraft getretenen Niedersächsischen Naturschutzgesetzes (NNatG) findet nach der Neuregelung des Naturschutzrechts aus dem Jahr 2009 im neuen Niedersächsischen Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutzgesetz (NAGBNatSchG) keine Entsprechung mehr. Wohl aber ist eine Befreiungsmöglichkeit nunmehr unmittelbar in § 67 Abs. 1 S. 1 BNatSchG geregelt. Danach kann von den Geboten und Verboten nach dem Naturschutzrecht der Länder auf Antrag Befreiung gewährt werden, wenn

- dies aus Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses, einschließlich solcher sozialer und wirtschaftlicher Art, notwendig ist (Nr. 1) oder
- die Durchführung der Vorschriften im Einzelfall zu einer unzumutbaren Belastung führen würde und die Abweichung mit den Belangen von Naturschutz und Landschaftspflege vereinbar ist (Nr. 2).

Vorliegend kann an eine Befreiung aus Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses, insbesondere zur Gewährleistung einer sicheren Energieversorgung, gedacht werden. Dieser Befreiungstatbestand ist an § 34 Abs. 3 Nr. 1 BNatSchG angelehnt, der die Zulässigkeit von Projekten mit erheblichen Beeinträchtigungen von Natura 2000-Gebieten regelt.<sup>150</sup> Voraussetzung einer Befreiung nach § 67 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BNatSchG ist allgemein, dass sich der betreffende Sachverhalt vom gesetzlich geregelten Tatbestand durch seine Atypik abhebt und dass bei einer Abwägung die mit der Befreiung verfolgten öffentlichen Interessen gegenüber den hinter dem Verbot stehenden Interessen überwiegen.<sup>151</sup> Von einem atypischen Sachverhalt könnte vorliegend ausgegangen werden, insbesondere da Halden der früheren bergbaulichen Nutzung entsprechen und an die bestehende Halde angeknüpft würde. Projekte der Energieversorgung können grundsätzlich Gegenstand einer Befreiungsentscheidung sein.<sup>152</sup> Nicht erforderlich ist auch, dass die Aufhaldung das einzige denkbare Mittel ist, um das verfolgte öffentliche Interesse an der Energieversor-

---

<sup>150</sup> Vgl. Begründung zum Entwurf des BNatSchG, BT-Dr. 16/12274 S. 77.

<sup>151</sup> Vgl. etwa Fischer-Hüftle in Schumacher/Fischer-Hüftle, BNatSchG, § 67 Rn. 8; auch Lau in: Frenz/Müggenborg, BNatSchG, § 67 Rn. 1, 3.

<sup>152</sup> Vgl. zu § 34 Abs. 3 Nr. 1 BNatSchG Frenz in: Frenz/Müggenborg, BNatSchG, § 34 Rn. 96.

gung zu verwirklichen. Wohl aber muss diese Maßnahme vernünftigerweise geboten sein, wobei zumutbare Alternativen gegen ein Überwiegen der Interessen sprechen.<sup>153</sup> Entsprechend verlangt § 34 Abs. 3 Nr. 1 BNatSchG, dass zumutbare Alternativen, den mit dem Projekt verfolgten Zweck an anderer Stelle ohne oder mit geringeren Beeinträchtigungen zu erreichen, nicht gegeben sind.<sup>154</sup> Eine abschließende Beurteilung ist vorliegend nicht möglich, sondern würde insbesondere eine Gegenüberstellung der verschiedenen Alternativen zum Umgang mit dem Aushubmaterial erfordern.

#### 2.4.7.2.1.2 Verordnung über das Landschaftsschutzgebiet Harz (Landkreis Goslar)

Im Geltungsbereich der Landschaftsschutzgebietsverordnung für den Bereich Goslar<sup>155</sup> wäre nach Variante 1 der des Teilberichts Bergbau eine Erdverkabelung ab dem Modellbergwerk sowie ab bestehender Hochspannungstrasse eine parallel zu errichtende 110-kV-Freileitung zu errichten. Nach Variante 2 (siehe dort unter Nr. 13.2.2) wäre eine komplette Erdverkabelung vorzunehmen.

Nach § 6 Abs. 1 Nr. 1 der Verordnung steht die Errichtung oder wesentliche Änderung von Leitungen aller Art unter Erlaubnisvorbehalt, sodass beide Varianten unter diese Vorschrift zu fassen sind. Freigestellt ist auch nach dieser Verordnung nur die Unterhaltung, nicht aber die Errichtung von ober- und unterirdischen Ver- und Entsorgungsleitungen, vgl. § 4 Nr. 7 der Verordnung. Die Erlaubnis wird auf Antrag erteilt, wenn der Charakter des Landschaftsschutzgebietes und der Schutzzweck nicht beeinträchtigt werden. Aufgrund der schon bestehenden Freileitungstrasse sowie der geringen Beeinträchtigung von Natur und Landschaft durch eine Erdverkabelung erscheint eine Erlaubniserteilung als wahrscheinlich. Andernfalls wäre auch hier eine mögliche Befreiung nach § 67 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BNatSchG aufgrund überwiegender öffentlicher Interessen zu prüfen.

---

<sup>153</sup> Fischer-Hüftle in Schumacher/Fischer-Hüftle, BNatSchG, § 67 Rn. 10.

<sup>154</sup> Näher zu den Anforderungen Frenz in Frenz/Müggenborg, BNatSchG, § 34 Rn. 78 ff.

<sup>155</sup> Verordnung über das Landschaftsschutzgebiet Harz (Landkreis Goslar) in der Fassung vom 11.4.1994 (Nds. GVBl. S. 155, 267), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Haushaltsbegleitgesetzes 2001 vom 15.12.2000 (Nds. GVBl. Nr. 25/2000, S. 378); im Internet abrufbar unter: [http://www.landkreis-goslar.de/media/custom/62\\_1175\\_1.PDF?1113889806](http://www.landkreis-goslar.de/media/custom/62_1175_1.PDF?1113889806), zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011.

#### 2.4.7.2.2 FFH-Gebiet Iberg

Beide vorliegend in Frage kommenden Varianten haben gemein, dass ein Teilabschnitt der Erdverkabelung entlang einer bestehenden Gasleitung der Harz Energie Netz GmbH verlaufen könnte. Diese verläuft allerdings auf einer Strecke von geschätzt 600m im östlichen Randbereich durch das FFH-Gebiet „Iberg“ (siehe u.a. Teilbericht Bergbau), sodass sich die Frage stellt, inwieweit die Berührung des FFH-Gebietes genehmigungsrechtliche Schwierigkeiten bereiten könnte.

Hierbei ist insbesondere § 34 BNatSchG zu beachten. § 34 Abs. 1 S. 1 BNatSchG sieht eine Verträglichkeitsprüfung für Projekte vor, die geeignet sind, die jeweiligen Erhaltungsziele eines Natura 2000-Gebietes erheblich zu beeinträchtigen. Sofern eine überschlägige Vorprüfung ergibt, dass erhebliche Beeinträchtigungen nicht offensichtlich ausgeschlossen werden können bzw. ernstlich zu erwarten sind, ist eine Verträglichkeitsprüfung durchzuführen.

Nach § 34 Abs. 1 S. 2 BNatSchG ergeben sich die Maßstäbe für die Verträglichkeit, soweit ein Natura 2000-Gebiet ein geschützter Teil von Natur und Landschaft im Sinne des § 20 Abs. 2 BNatSchG ist, aus der hierzu erlassenen Rechtsverordnung, wenn hierbei die jeweiligen Erhaltungsziele des Natura 2000-Gebietes bereits berücksichtigt wurden. Das FFH-Gebiet „Iberg“ befindet sich innerhalb des Landschaftsschutzgebietes Harz, als zugehörige Rechtsverordnung im Sinne des § 20 Abs. 2 BNatSchG käme daher die Landschaftsschutzgebietsverordnung Harz (Landkreis Osterode) in Betracht. Allerdings sind in dieser nach Auskunft des Landkreises Osterode die Erhaltungsziele des Natura-2000-Gebietes Iberg noch nicht berücksichtigt, weswegen nicht auf diese Rechtsverordnung zurückgegriffen werden darf.

Danach ist nach § 34 Abs. 1 S. 1 BNatSchG zu beurteilen, ob durch ein unterirdisches Pumpspeicherwerk und dessen Peripherie (Netzanbindung sowie Aufhaldung von Gestein) eine erhebliche Beeinträchtigung der Erhaltungsziele eines Natura-2000-Gebietes möglich ist. Ergibt die Verträglichkeitsprüfung, dass durch das Projekt die Möglichkeit einer erheblichen Beeinträchtigung des Gebietes in seinen für die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen führen kann, ist das Projekt gemäß § 34 Abs. 2 BNatSchG unzulässig. Eine Abweichung wäre dann nur unter den kumulativ zu



erfüllenden Voraussetzungen des § 34 Abs. 3 BNatSchG möglich. Sofern von dem Projekt im Gebiet vorkommende prioritäre natürliche Lebensraumtypen betroffen werden können, sind die strengeren Voraussetzungen des § 34 Abs. 4 BNatSchG zu beachten.

Zu den allgemeinen Erhaltungszielen des FFH-Gebietes Iberg gehören nach Auskunft des Landkreises Osterode unter anderem der Schutz und die Entwicklung des artenreichen, großflächig vorhandenen und montan getönten Perlgras-Buchenwaldes mit eingestreuten Kalkfelsen und Übergängen zum Orchideen-Kalk-Buchenwald auf dem durch geowissenschaftlich bedeutsame Karstformen geprägten Iberg, der Schutz und die Entwicklung der zahlreichen kleinen Kalkfelsen mit Felsspaltenvegetation sowie der Schutz naturnaher Höhlen und Höhlenkomplexe unter anderem als sehr bedeutende Fledermausquartiere.

Nach Punkt 5.2 des Runderlasses des Niedersächsischen Umweltministeriums zum Europäischen ökologischen Netz „Natura 2000“<sup>156</sup> ist für ein Vorhaben im Sinne einer Vorprüfung zunächst zu ermitteln, ob die Durchführung einer FFH-Verträglichkeitsprüfung notwendig ist. Dies ist zu bejahen, wenn ein Vorhaben einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Projekten und Plänen überhaupt geeignet ist, ein Natura-2000-Gebiet erheblich beeinträchtigen zu können. In einer Vorabschätzung des Landkreises Osterode anhand der in dieser Studie dargestellten Betrachtungstiefe erscheint bei einer Trassenwahl entlang des Weges im östlichen Bereich des FFH-Gebietes eine Verträglichkeitsprüfung entbehrlich.

#### **2.4.8 Raumordnungsrecht**

Im Zusammenhang mit Raumordnungsfragen ist zunächst auf die allgemeinen Ausführungen zu verweisen (vgl. oben 2.3). Nach § 1 Nr. 14 RoV kann die in der Teilverkabelungsvariante (siehe unter 2.4.6.1) in Betracht kommende Errichtung einer Hochspannungsfreileitung mit einer Nennspannung von 110 kV grundsätzlich erfasst werden. Angesichts der geringen Länge des Freileitungsabschnittes von ca. 6 Kilometern erscheint die Raumbedeutsamkeit des Vorhabens aber sehr zweifelhaft, so dass voraussichtlich kein Raumordnungsverfahren erforderlich wäre. Entsprechendes gilt für eine teilweise oder vollständige Erdverkabelung, die in der RoV ohnehin nicht aufgeführt wird. Zwar sieht § 13 Abs. 1 NROG eine Generalklausel für weitere von dem Katalog der RoV nicht erfasste

---

<sup>156</sup> RdErl d. MU v. 28.7.2003 (29-22005/12/7), Nds. MBl. S. 604.

Vorhaben vor, sofern diese im Einzelfall raumbedeutsam sind und überörtliche Bedeutung haben. Hieran dürfte es vorliegend jedoch fehlen. Auch seitens des Landkreises Osterode wird keine Notwendigkeit für ein Raumordnungsverfahren gesehen.

Hinsichtlich der Oberflächenauswirkungen der erforderlichen baulichen Anlagen ist zu berücksichtigen, dass größtenteils vorhandene Gebäude und Anlagen genutzt werden können. Bedeutsam erscheint daher vor allem eine etwaige Aufhaldung von Gesteinsaushub. Insoweit könnte ein Raumordnungsverfahren nach § 1 Nr. 1 bzw. § 1 Nr. 4 RoV im Einzelfall notwendig werden, je nachdem, ob von einer Lagerung oder einer Ablagerung des Gesteinsaushubs ausgegangen wird. Die Raumbedeutsamkeit könnte nach den obigen Überlegungen ab einem Oberflächenverbrauch von 10 ha, ggf. auch bereits 5 ha, in Betracht gezogen werden. Dies kann vorliegend noch nicht abschließend beurteilt werden.

#### **2.4.9 Zusammenfassung zum Modellbergwerk Grund**

Im Ergebnis sind nach derzeitigem Stand die Errichtung und der Betrieb eines unterirdischen Pumpspeicherwerks am Standort Bad Grund grundsätzlich möglich.

Festzuhalten ist zunächst, dass bergrechtliche Vorschriften nur begrenzt anwendbar sind, wenngleich die durchzuführenden Arbeiten (insbesondere Schachtabteufungen sowie die Auffahrung unterirdischer Speicherbecken) in erheblichem Umfang als dem Bergrecht naheliegend einzuordnen sind. Damit sind die Bergbehörden, die fachlich für entsprechende Prüfungen und Genehmigungen am qualifiziertesten wären, nur in sehr geringem Umfang sachlich zuständig. Dies gilt insbesondere für die Anzeigen von Bohrungen und Schachtabteufungen nach § 50 Abs. 1 BBergG sowie § 4 Abs. 1 LagerstG.

Stattdessen wird die Errichtung der unterirdischen Speicherbecken von der Niedersächsischen Bauordnung (vgl. § 2 Abs. 1 S. 2 Nr. 4 NBauO) erfasst. Da für den Standort „Wiemannsbucht“ ein Bebauungsplan besteht, der die bauliche Nutzung als Gewerbegebiet (vgl. § 8 BauNVO) vorsieht, ist das Vorhaben an dessen Vorgaben zu messen. Ein untertägiges Pumpspeicherwerk erscheint mit diesen bauplanungsrechtlichen Vorgaben vereinbar. Hinsichtlich der ober- und untertägigen Arbeiten sind zudem die Vorschriften des Niedersächsischen Denkmalschutzrechtes zu beachten, da die gesamte Schachtanlage einschließlich der untertägigen Anlagen unter Denkmalschutz steht. Für die erforderlichen Maßnahmen bei der Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerkes bedarf es daher einer Genehmigung nach § 10 Abs. 1 NDSchG, die im Rahmen der Baugenehmi-

gung bzw. eines diese ersetzenden Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsbeschlusses zu erteilen wäre. Die denkmalschutzrechtliche Genehmigung erscheint möglich, insbesondere da auf die Errichtung einer Hochspannungsfreileitung in der Nähe des denkmalgeschützten Ensembles verzichtet werden soll.

Eine Anwendbarkeit der wasserrechtlichen Vorschriften bezüglich der Speicherbecken ist unter Zugrundelegung der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts zu verneinen. Zwar handelt es sich bei dem System eines unterirdischen Pumpspeicherwerks nicht um einen physisch geschlossenen Wasserkreislauf, da die Speicherbecken nicht vollständig abzudichten sind, Wasser versickert sowie hinzutretendes überschüssiges Wasser über den Wasserlösungsstollen „Ernst-August-Stollen“ in die Markau eingeleitet werden würde. Jedoch wird im Rahmen eines unterirdischen Pumpspeicherwerks die Funktion des Wassers als Bestandteil des Naturhaushalts aufgehoben und durch eine gewerbliche Nutzung mit selbständigen und eigengesetzlichen Funktionen weitgehend verdrängt. Damit scheidet ein Gewässerausbau nach §§ 67, 68 WHG durch Errichtung der Speicherbecken aus. Wohl aber dürfte für Errichtung und Nutzung der Speicherbecken ein Planfeststellungsverfahren nach § 20 UVPG Anwendung finden.

Erdaufschlüsse, etwa durch Bohrungen, sind dem Landkreis Osterode als zuständiger Wasserbehörde gemäß § 49 Abs. 1 S. 1 WHG anzuzeigen. Im Rahmen der Errichtung und des Betriebes eines unterirdischen Pumpspeicherwerks sind zudem diverse wasserrechtliche Genehmigungen für Benutzungen nach § 9 Abs. 1, 2 WHG notwendig. Eine Gebührenpflicht für Wasserentnahmen nach § 21 Abs. 1 NWG kann dabei mit guten Argumenten gemäß § 21 Abs. 2 Nr. 7 NWG verneint werden. Bislang nicht abschließend geklärt ist, ob in der Installierung einer Grundwasserhaltung ein Gewässerausbau nach §§ 67, 68 WHG liegen kann, was nach hier vertretener Ansicht für denkbar gehalten wird. In diesem Umfang wären wasserrechtliche Benutzungen gemäß § 9 Abs. 3 WHG nicht gegeben, sondern ein wasserrechtliches Planfeststellungsverfahren durchzuführen.

Besondere Aufmerksamkeit muss den bestehenden Einschränkungen in der Verordnung zum Wasserschutzgebiet „Magdeburger Stollen“ gewidmet werden. Diese würden eine Ausnahmegenehmigung insbesondere für die Erstreckung der Speicherbecken in das Wasserschutzgebiet erforderlich machen. Die Anlage der Speicherbecken sollte daher möglichst außerhalb des Wasserschutzgebietes erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass etwaige Auswirkungen auf das Wasserschutzgebiet auch dann zu berücksichtigen sind, wenn die Speicherbecken außerhalb dieses Schutzgebietes liegen.

Hinsichtlich einer etwaigen Aufhaldung des Aushubmaterials ist zu differenzieren, ob es sich um eine (temporäre) Lagerung (dann immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren nach § 10 bzw. § 19 BImSchG) oder eine (endgültige) Ablagerung (dann abfallrechtliches Planfeststellungsverfahren nach § 31 Abs. 2 KrW-/AbfG) handelt. Bauplanungsrechtlich wäre die Aufhaldung gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 4 BauGB im Außenbereich denkbar. Nach der Landschaftsschutzgebietsverordnung Harz (Landkreis Osterode), müsste für die Aufhaldung in deren Anwendungsbereich allerdings eine naturschutzrechtliche Befreiung nach § 67 Abs. 1 S. 1 BNatSchG erteilt werden.

Bezüglich der Netzanbindung werden zwei Varianten diskutiert, wobei entweder eine vollständige oder eine teilweise Erdverkabelung vorgesehen wird. Für die Erdverkabelung ist nach derzeitiger Rechtslage kein Planfeststellungsverfahren vorgesehen, so dass Einzelgenehmigungsverfahren durchzuführen sind. Zu beachten ist, dass bei beiden Varianten eine Erdverkabelung entlang einer bestehenden Gasleitungstrasse angedacht ist, welche den Randbereich des FFH-Gebietes „Iberg“ quert. Nach überschlägiger Einschätzung wird hierdurch jedoch keine Verträglichkeitsprüfung nach § 34 BNatSchG notwendig. Für einen etwaigen Freileitungsabschnitt ist nach § 43 S. 1 Nr. 1 EnWG grundsätzlich ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen.

Für einzelne Vorhabenbestandteile kann sich die Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung nach UVPG ergeben. Dies gilt zunächst für die Wasserkraftanlage, für die Speicherbecken, für eine etwaige Grundwasserentnahme sowie für die Wasserableitung. Die Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung muss im Rahmen einer allgemeinen bzw. standortbezogenen Vorprüfung des Einzelfalls beurteilt werden und erscheint durchaus naheliegend. Hingegen erscheint die Pflicht zur Vornahme einer Umweltverträglichkeitsprüfung für eine etwaige Freileitungsanbindung eher unwahrscheinlich. In Betracht kommt die Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung zudem für eine etwaige Aufhaldung von Gesteinsaushub.

Schließlich kann sich bei Bejahung der Raumbedeutsamkeit und der überörtlichen Bedeutung im Einzelfall die Notwendigkeit eines vorgelagerten Raumordnungsverfahrens ergeben. Dies lässt sich für das Modellbergwerk Grund nachzeitigem Stand allerdings nicht abschließend beurteilen.

## **2.5 Modellbergwerk Pöhla**

Im Folgenden werden die im Rahmen des allgemeinen genehmigungsrechtlichen Bearbeitungsteils herausgestellten Erkenntnisse (vgl. insb. unter 2.1) auf das Modellbergwerk Pöhla angewendet. Dabei wird auf die in anderen Teilbereichen herausgearbeiteten Erkenntnisse bzw. auf die im Rahmen des Projekts erfolgten Absprachen zurückgegriffen und diese als Grundlage für die genehmigungsrechtliche Einordnung des Modellbergwerks Grund verwendet.

### **2.5.1 Immissionsschutzrecht**

Für ein unterirdisches Pumpspeicherwerk als solches gilt am Modellstandort Pöhla Gleiches wie schon im allgemeinen Teil (vgl. oben 2.1.1) erarbeitet: Genehmigungspflichten nach Vorschriften des BImSchG sind nicht ersichtlich.

Eine gemäß § 4 BImSchG i.V.m. Nr. 1.8 des Anhangs zur 4. BImSchV genehmigungspflichtige Umspannstation mit einer Oberspannung von 220 kV oder mehr ist auch für den Modellstandort Pöhla nicht vorgesehen. Vielmehr wird bezugnehmend auf den Teilbericht Energiesystemtechnik eine Nutzung des bestehenden Umspannwerks Zwönitz in Betracht gezogen. Zudem wird auch im Rahmen des Modellstandorts Pöhla von einer Oberspannung von 110 kV ausgegangen.

Hinsichtlich der Aufhaldung des Aushubmaterials wird auf Grundlage des Teilberichts Bergbau von einer temporären oder endgültigen Verbringung auf die Luchsbachhalde ausgegangen. Zustand und Verwendungsmöglichkeiten des Aushubmaterials sind in diesem Stadium nicht genau bekannt. Doch erscheinen am Modellstandort Pöhla insbesondere Belastungen durch Uran, Radium, Arsen, Mangan und Eisen möglich (vgl. Teilbericht Umweltauswirkungen).

Nur bei einer temporären Aufhaldung wären immissionsschutzrechtliche Vorschriften zu prüfen; sollte eine endgültige Ablagerung des Materials angestrebt werden, wäre hingegen die Errichtung einer Deponie gemäß § 31 Abs. 2 KrW-/AbfG gegeben. Sofern eine temporäre Aufhaldung von unbelastetem Material erfolgen soll, wäre Nr. 8.12 lit. b (Spalte 2) Anhang 4. BImSchV einschlägig mit der Folge, dass nach § 2 der 4. BImSchV ein Genehmigungsverfahren nach § 10 BImSchG durchgeführt werden müsste, soweit für diese Anlage eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen wäre. Bei einer endgültigen La-

gerung wäre Nr. 8.14 lit. b (Spalte 1) Anhang 4. BImSchV anzuwenden, sofern eine Aufnahmekapazität von 10 Tonnen oder mehr je Tag oder einer Gesamtlagerkapazität von 150 Tonnen oder mehr auszugehen ist. Zumindest letztere Voraussetzung wird bei den anfallenden Aushubmengen zu bejahen sein.

Abweichende Regelungen gelten für gefährliche Abfälle. Die Einordnung als gefährlicher Abfall richtet sich gemäß § 3 Abs. 8 und § 41 S. 2 KrW-/AbfG nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV),<sup>157</sup> ggf. i.V.m. der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV).<sup>158</sup> Für die Lagerung von gefährlichem Abfall dürfte stets eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung erforderlich sein. Bei einer zeitweiligen Lagerung (bis zu einem Jahr) ergibt sich dies aus Nr. 8.12 Anhang 4. BImSchV, der ab einer Mindestaufnahmekapazität von einer Tonne und einer Gesamtlagerkapazität von mindestens 30 Tonnen eingreift. Diese Mindestmengen dürften, sofern überhaupt eine Aufhaldung erfolgt, jedenfalls überschritten werden. Im Falle einer längerfristigen Lagerung (mehr als ein Jahr) findet Nr. 8.14 Anhang 4. BImSchV Anwendung, wobei keine Mindestmengen vorausgesetzt werden. Ob gefährliche Abfälle betroffen sind, kann derzeit nicht beurteilt werden.

Nicht anwendbar sind BImSchG und KrW-/AbfG allerdings, soweit es sich um Stoffe handelt, deren Beseitigung in einer Rechtsverordnung auf Grundlage des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) geregelt ist, vgl. § 2 Abs. 2 Nr. 3 KrW-/AbfG. Die Verordnungsermächtigung nach § 7 Abs. 3 StrVG wurde durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) ausgeübt.<sup>159</sup> Die §§ 97 ff. StrlSchV regeln den Schutz der Bevölkerung bei natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen. Zudem findet ggf. nach § 118 StrlSchV das aufgrund des Einigungsvertrages fortgeltende Recht für die Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten und Arbeiten sowie die Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaus Anwendung.

---

<sup>157</sup> Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10.12.2001, BGBl. I S. 3379, zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 15.07.2006, BGBl. I S. 1619.

<sup>158</sup> Gefahrstoffverordnung vom 26.11.2010, BGBl. I S. 1643, 1644.

<sup>159</sup> Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen v. 20.07.2001, BGBl. I S. 1714 sowie BGBl. 2002 I S. 1459, zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 29.08.2008, BGBl. I S. 1793.

### **2.5.2 Bergrecht**

Wie schon im allgemeinen Teil ausgeführt (siehe unter 2.1.2), ist nach derzeitiger Rechtslage die Anwendbarkeit des BBergG im Zusammenhang mit untertägigen Pumpspeicherwerken weitgehend ausgeschlossen, obwohl fachlich dem Bergrecht naheliegende Tätigkeiten im Zuge von Errichtung und Betrieb notwendig wären.

Für das Modellbergwerk Pöhla sind in diesem Zusammenhang allerdings verschiedene Besonderheiten zu beachten. Zum einen besteht nach Auskunft des Sächsischen Oberbergamts an diesem Standort noch für unbestimmte Zeit Bergaufsicht. Zum anderen ist vorliegend das sächsische Landesrecht zu beachten, welches eine Anzeigepflicht bezüglich unterirdischer Hohlräume statuiert. Darüber hinaus ist durch die Existenz eines Besucherbergwerks im Bergwerk Pöhla zu prüfen, inwieweit sich hiermit ein unterirdisches Pumpspeicherwerk vereinbaren lässt.

#### **2.5.2.1 Auffahrung von Speicherbecken und anderen Hohlraumbauten unter Rückgriff auf Vorschriften des BBergG**

Auch am Modellstandort Pöhla sind für die Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks die Auffahrung eines Ober- und Unterbeckens sowie die Herstellung einer Maschinenkaverne notwendig. Zudem ist insbesondere die Strecke für die Druckrohrleitung zwischen Ober- und Unterbecken anzulegen. Eine Gewinnung von Bodenschätzen, die dem BBergG unterfallen würde, ist hiermit nachzeitigem Stand nicht verbunden. Vielmehr sollen die Speicherbecken außerhalb von möglichen Lagerstätten aufgefahren werden (vgl. Teilbericht Bergbau), sodass Bodenschätze im Rahmen der Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks nachzeitigem Stand nicht betroffen sind.

Aufgrund des Wegfalls von § 130 BBergG a.F. als zentraler bergrechtlicher Vorschrift für Hohlraumauffahrungen finden sich im BBergG für die hier beschriebenen Maßnahmen auch keine anderen genehmigungsrechtlichen Tatbestände mehr. Insbesondere sind weder § 126 BBergG (Untergrundspeicherung) noch § 127 BBergG (Bohrungen) anwendbar.

#### **2.5.2.2 Schachtabteufungen**

Aufgrund der Gegebenheiten zum Modellbergwerk Pöhla ist eine weitere Schachtabteufung nicht notwendig. Auch für die Kabelableitung wird kein neuer Schacht benötigt,



sondern das vorhandene Grubensystem nutzbar gemacht (vgl. Teilbericht Energiesystemtechnik). Weitere rechtliche Ausführungen zu diesem Punkt sind daher nicht notwendig.

#### 2.5.2.3          Probebohrungen sowie Be- und Entlüftungsbohrungen

Nach Einschätzungen des Projektbereichs Bergbau könnten ggf. Probebohrungen zur genauen Positionierung der Speicherstrecken notwendig werden. Sofern diese Bohrungen mehr als 100m in den Boden eindringen sollen, ist für diese Handlungen § 127 BBergG einschlägig. Danach besteht im Regelfall eine Anzeigepflicht gemäß § 50 Abs. 1 BBergG, sofern die zuständige Behörde nicht im Einzelfall eine Betriebsplanpflicht gemäß § 127 Abs. 1 Nr. 2 BBergG anordnet, weil dies mit Rücksicht auf den Schutz Beschäftigter oder Dritter oder die Bedeutung des Betriebes für erforderlich gehalten wird. Hiervon ist bei Probebohrungen im Regelfall nicht auszugehen.

Entsprechend zu beurteilen ist die Rechtslage für Bohrungen, die unter Umständen vorgenommen werden, um die Be- oder Entlüftung insbesondere der Speicherbecken zu ermöglichen.

Gemäß § 4 Abs. 1 LagerstG ist der jeweilige Bohrbeginn spätestens zwei Wochen vorher beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie anzuzeigen.

#### 2.5.2.4          Anpassung des Abschlussbetriebsplans aufgrund fortbestehender Bergaufsicht

Das Modellbergwerk Pöhla steht insbesondere aufgrund der fortbestehenden Vorbelastung des Flutungswassers (vgl. hierzu Teilbericht Umweltauswirkungen) für noch unbestimmte Zeit unter Bergaufsicht. Dies wird sich nach Auskunft des Sächsischen Oberbergamtes auch in Zukunft nicht ändern, da u.a. eine endgültige Verwahrung auch solange nicht erfolgen wird, wie Abschnitte des Bergwerks als Besucherbergwerk fungieren.

Daher ist es bezugnehmend auf die allgemeinen Ausführungen (siehe oben 2.1.2.3) für eine Folgenutzung des Modellbergwerks als unterirdisches Pumpspeicherwerk notwendig, den bestehenden Abschlussbetriebsplan an die geänderte Folgenutzung anzupassen. Nähere Regelungen für diesen Fall sind nicht existent, Praxiserfahrungen nicht bekannt. Der geänderte Abschlussbetriebsplan müsste insbesondere Regelungen zu der Frage enthalten, inwieweit und unter welchen Voraussetzungen die der Bergaufsicht unterstehenden Gru-

benbaue und sonstigen Anlagen im Rahmen von Errichtung und Betrieb des untertägigen Pumpspeicherwerkes genutzt werden dürfen.

Zu betonen ist allerdings nochmals, dass keine umfassende Zuständigkeit der Bergbehörde für die Folgenutzung besteht. Die im Rahmen des Abschlussbetriebsplans auszuübende Bergaufsicht kann sich nur auf den sachlichen, räumlichen und zeitlichen Anwendungsbereich des BBergG beziehen. Die Folgenutzung als untertägiges Pumpspeicherwerk selbst würde daher nicht dem Bergrecht unterfallen, sondern wäre nach den dafür geltenden anderweitigen Rechtsvorschriften zu beurteilen.

#### 2.5.2.5 Ergänzendes sächsisches Gefahrenabwehrrecht

Insbesondere hinsichtlich der Auffahrung der unterirdischen Speicherbecken ist auf die dem landesrechtlichen Gefahrenabwehrrecht unterfallende Sächsische Hohlraumverordnung<sup>160</sup> hinzuweisen. Diese gilt nach § 1 SächsHohlrVO für die Abwehr von Gefahren und die Beseitigung von Störungen aus unterirdischen Hohlräumen im Gebiet des Freistaates Sachsen. Im Sinne dieser Verordnung werden gemäß § 2 Abs. 1 SächsHohlrVO unterirdische Hohlräume unter anderem als stillgelegte Grubenbaue und Bohrungen definiert, soweit sie nicht dem Geltungsbereich des BBergG unterliegen (Nr. 1), sowie künstliche unterirdische Hohlräume mit einem Volumen von mehr als 50 m<sup>3</sup>, die zu anderen als bergbaulichen Zwecken unter Tage in nicht offener Bauweise errichtet wurden (Nr. 3).

Für unterirdische Hohlräume besteht gemäß § 4 Abs. 1 SächsHohlrVO eine Meldepflicht bei dem nach § 3 SächsHohlrVO zuständigen Sächsischen Oberbergamt. Sofern unterirdische Hohlräume genutzt werden sollen bzw. bergtechnische Arbeiten in oder an unterirdischen Hohlräumen durchgeführt werden sollen, ist dieses beabsichtigte Vorhaben nach § 5 Abs. 1 SächsHohlrVO spätestens einen Monat vor Beginn schriftlich dem Sächsischen Oberbergamt anzuzeigen. Damit ist ggf. ein präventives Eingreifen möglich, so dass die Anzeigepflicht ähnliche Wirkungen wie ein Genehmigungstatbestand entfalten kann. Somit ist in Sachsen - freilich mit einem Umweg über das landesrechtliche besondere Gefahrenabwehrrecht - eine Einbeziehung der fachlich qualifizierten Bergbehörde schon

---

<sup>160</sup> Polizeiverordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen sowie Halden und Restlöchern (Sächsische Hohlraumverordnung – SächsHohlrVO), SächsGVBl 2002, S. 117.

nach derzeitiger Rechtslage sichergestellt. Allerdings bestehen keine der Betriebsplanpflicht vergleichbaren Anforderungen.

#### 2.5.2.6 Besucherbergwerk „Zinnkammern Pöhla e.V.“

Zu beachten ist, dass im Rahmen des Besucherbergwerks „Zinnkammern Pöhla e.V.“ ein Teil der alten Gruben Hohlräume, unter anderem die ersten 3km des Pöhla-Stollens sowie die Lagerstätte „Hämmerlein“, genutzt werden (vgl. Teilbericht Bergbau). Fraglich ist, ob die Existenz des Besucherbergwerks „Zinnkammern Pöhla e.V.“ genehmigungsrechtliche Auswirkungen hat und möglicherweise zu Konflikten mit einem geplanten unterirdischen Pumpspeicherwerk am gleichen Standort führen könnte. Zwar ist das Besucherbergwerk vom Standort des unterirdischen Pumpspeicherwerks einige Kilometer entfernt. Sofern jedoch insbesondere der Pöhla-Stollen zum teilweisen Abtransport von Gesteins-aushub genutzt werden sollte, würden sich Überschneidungen mit dem Betrieb des Besucherbergwerks ergeben.

Für Besucherbergwerke gelten gemäß § 129 Abs. 1 BBergG die Vorschriften der §§ 50 bis 62 und 65 bis 74 BBergG entsprechend. Errichtung und Betrieb eines Besucherbergwerks bedürfen daher eines eigenen Betriebsplans. Das Besucherbergwerk wird auf Grundlage eines zugelassenen Hauptbetriebsplanes betrieben, der nach Auskunft des Sächsischen Oberbergamts bis zum 31. Mai 2013 befristet ist. Sollen für Errichtung oder auch Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Standort Pöhla Teile des Besucherbergwerkes genutzt werden, insbesondere zum Transport des Gesteins-aushubes durch den Pöhla-Stollen, so muss der betreffende Betriebsplan diese Maßnahmen zulassen. Dies wäre bei der Ausgestaltung des Betriebsplans für die Zeit nach dem 31. Mai 2013 sicherzustellen.

Nachzeitigem Stand kann nicht sicher beurteilt werden, inwieweit die Bergbehörde eine parallele Nutzung des Pöhla-Stollens für das Besucherbergwerk und als Transportweg für Gesteins-aushub des Pumpspeicherwerkes genehmigen könnte. Zu berücksichtigen wären insbesondere Gesichtspunkte der Gefahrenabwehr im Hinblick auf Besucher und Personal des Besucherbergwerkes. Eine Beurteilung kann erst nach genauer Kenntnis der Umstände erfolgen. Möglicherweise könnte eine Lösung durch Einschränkungen oder Nebenbestimmungen des neuen Betriebsplans gefunden werden. Im Extremfall wäre zu erwägen, einen Betriebsplan für das Besucherbergwerk „Zinnkammern“ nicht mehr zu genehmigen. Doch sollte auch aus Akzeptanzgründen versucht werden, Konfliktsituatio-

nen mit dem Besucherbergwerk, insbesondere durch anderweitige Transportwege für das Aushubmaterial, zu vermeiden (siehe zur Akzeptanzforschung am Standort Pöhla insgesamt den Teilbericht Wirtschaft).

#### 2.5.2.7 Zwischenergebnis

Auch für den Modellstandort Pöhla findet Bergrecht nur begrenzt Anwendung. Eine Anzeigepflicht für Bohrungen ergibt sich aus § 50 Abs. 1 BBergG sowie § 4 Abs. 1 LagerstG. Zudem ist die Bergbehörde für die Gefahrenabwehr nach der SächsHohlrVO im Rahmen der Hohlraumauffahrung und -nutzung zuständig. Der bestehende Abschlussbetriebsplan für das Bergwerk Pöhla müsste angepasst werden, um eine Nutzung der unter Bergaufsicht stehenden Grubenbaue und Anlagen für Errichtung und Betrieb des untertägigen Pumpspeicherwerkes zuzulassen; die Folgenutzung selbst unterliegt aber nicht dem Bergrecht. Ebenso müsste sichergestellt werden, dass ein neuer Betriebsplan für das Besucherbergwerk „Zinnkammern“ die Nutzung des Pöhla-Stollens für Zwecke des Pumpspeicherwerkes, soweit gewünscht, zulässt.

### 2.5.3 Wasserrecht

#### 2.5.3.1 Anwendbarkeit des WHG

Auch bezüglich des Modellbergwerks Pöhla ist das in den Speicherbecken genutzte Wasser nicht als „Gewässer“ i.S.d. WHG einzuordnen. Zwar ist von keinem physisch geschlossenen Wasserkreislauf auszugehen, da auch in der Grube Pöhla kontinuierlich anfallendes Infiltrationswasser sowie überlaufendes Flutungswasser (unbehandelt bzw. behandelt) in den Luchsbach eingeleitet wird (vgl. Teilbericht Umweltauswirkungen). Doch wird auch hier das zum Speicherbetrieb genutzte Wasser aus seiner natürlichen Zweckbestimmung als Bestandteil des Naturhaushalts herausgelöst zugunsten von selbständigen und eigen-gesetzlichen Funktionen im Sinne einer gewerblichen Nutzung.

Demgegenüber ist die Anwendbarkeit des WHG zu bejahen, soweit im Zusammenhang mit dem untertägigen Pumpspeicherwerk auf oberirdische Gewässer oder vorhandenes Grundwasser zugegriffen wird, insbesondere für die erstmalige Befüllung der Speicherbecken sowie bei der Grundwasserhaltung und die Abgabe überschüssigen Wassers in das Grundwasser (vgl. oben 2.1.3.1.1).

## 2.5.3.2 Wasserrechtliche Benutzungen

### 2.5.3.2.1 Benutzungstatbestände und Genehmigungsvoraussetzungen

Bezüglich der für die Errichtung bzw. den Betrieb eines unterirdischen Pumpspeicherwerks einschlägigen Gewässerbenutzungstatbestände sowie der Genehmigungsvoraussetzungen kann auf den allgemeinen Teil (vgl. oben 2.1.3.2) verwiesen werden.

Aufgrund der Belastung des überlaufenden Flutungswassers muss dieses bislang vor der Einleitung in den Luchsbach behandelt werden. Es stellt laut Umweltbericht 2009 der Wismut GmbH die wesentliche Schadstoffquelle am Standort Pöhla dar.<sup>161</sup> Hinsichtlich des Zutageförderns, Zutageleitens oder Ableitens von überschüssigem Grundwasser gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG wäre daher darauf zu achten, dass eine mögliche Schadstofffracht, die in den natürlichen Wasserkreislauf eingeführt wird, mit den gesetzlichen Bestimmungen vereinbar ist. Hierbei sind beim Modellstandort Pöhla insbesondere Belastungen durch Uran, Radium, Arsen, Mangan und Eisen möglich (vgl. Teilbericht Umweltauswirkungen). Hier sind hinsichtlich der entsprechenden wasserrechtlichen Genehmigungen für die Zutageförderung bzw. Ableitung des Grundwassers gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG entsprechende Nebenbestimmungen wahrscheinlich, um eine Einhaltung der Grenzwerte zu erreichen.

Dabei wäre unter anderem auf die Vorschriften der novellierten Grundwasserverordnung (GrwV) zurückzugreifen. Mögliche Arsenbelastungen können gemäß § 13 Abs. 1 i.V.m. Nr. 8 Anlage 7 GrwV relevant werden. Danach sind zur Erreichung der in § 47 WHG genannten Ziele in den Maßnahmenprogrammen nach § 82 WHG Maßnahmen aufzunehmen, die einen entsprechenden Schadstoffeintrag in das Grundwasser verhindern. Im Rahmen der Umsetzung dieser Maßnahmen dürfen gemäß § 13 Abs. 1 S. 2 und 3 GrwV Einträge solcher Schadstoffe nur zugelassen werden, wenn die Schadstoffe in so geringer Menge und Konzentration in das Grundwasser eingetragen werden, dass eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit ausgeschlossen ist. Weitere Ausführungen zu Grundwasserverordnung und Schwellenwerten bezüglich des Modellbergwerks Pöhla finden sich im Teilbericht Umweltauswirkungen.

---

<sup>161</sup> Umweltbericht 2009 der Wismut GmbH, S. 24, abrufbar im Internet unter <http://www.wismut.de/de/downloads/umweltbericht2009.pdf>, zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011.

#### 2.5.3.2.2 Wasserentnahmegebühr gemäß § 23 SächsWG

Wie schon im allgemeinen Bearbeitungsteil angesprochen, ist neben genehmigungsrechtlichen Aspekten auch an ein mögliches Entgelt hinsichtlich einer Gewässerbenutzung zu denken. Für Sachsen finden sich hierzu Regelungen in § 23 SächsWG.

Nach § 23 Abs. 1 Nr. 1 SächsWG wird für die Benutzung eines Gewässers durch das Entnehmen oder Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern, gemäß § 23 Abs. 1 Nr. 2 SächsWG für das Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten und Ableiten von Grundwasser vom Freistaat Sachsen eine Abgabe erhoben. Dies entspricht den Benutzungstatbeständen des § 9 Abs. 1 Nr. 1 und Nr. 5 WHG. Daher könnte ein Entgelt für die erstmalige Absenkung des Grundwasserspiegels, für die erstmalige Beckenbefüllung sowie für das spätere stetige Ableiten überschüssigen Wassers in Frage kommen. Zu prüfen ist, ob § 23 Abs. 1 SächsWG auch Anwendung findet, soweit die betreffenden Maßnahmen dem Ausbau eines Gewässers i.S.v. § 67 Abs. 2 WHG dienen und daher gemäß § 9 Abs. 3 S. 1 WHG keine Benutzungen i.S.v. § 9 WHG sind. Dies betrifft, wenn die Grundwasserhaltung als Gewässerausbau angesehen wird (oben 2.1.3.6), das anfängliche Abpumpen des im Bergwerk befindlichen Wassers sowie ggf. die spätere Abgabe überschüssigen Grundwassers. Eine solche Einschränkung erscheint letztlich nicht überzeugend. Zum einen verweist § 23 Abs. 1 SächsWG nicht explizit auf § 9 WHG, zum anderen enthält Nr. 14a Anlage 2 SächsWG eine ausdrückliche Gebührenregelung für die Grundwasserhaltung.

Die Höhe der Gebühr bemisst sich dabei nach § 23 Abs. 5 i.V.m. Anlage 2 SächsWG. Hinsichtlich der Grundwasserhaltung ergibt sich gemäß Nr. 14a ein Abgabesatz von 0,015 Euro pro m<sup>3</sup>. Für die Befüllung der Speicherbecken mit Grundwasser wäre mangels speziellerer Regelung auf die sonstigen Verwendungszwecke nach Nr. 15 Anlage 2 SächsWG mit einem Abgabesatz von 0,076 Euro pro m<sup>3</sup> zurückzugreifen, bei Nutzung von Oberflächengewässern auf Nr. 24 mit einem Abgabensatz von 0.02 Euro pro m<sup>3</sup>. Aus Kostengesichtspunkten erschiene daher eine Befüllung aus oberirdischen Gewässern vorzugswürdig. Eine Abgabe wird in den Ausnahmefällen des § 23 Abs. 4 SächsWG nicht erhoben. Hierzu zählt gemäß § 23 Abs. 4 Nr. 3 SächsWG die Wasserentnahme und Ableitung von Wasser aus oberirdischen Gewässern zur unmittelbaren Wasserkraftnutzung und Wärmegewinnung. Eine entsprechende Ausnahme für Grundwassersachverhalte ist in den Ausnahmeregelungen des § 23 Abs. 4 SächsWG nicht enthalten, insbesondere beschränkt sich die Parallelvorschrift des § 23 Abs. 4 Nr. 4 SächsWG auf den Tatbestand der unmittelbaren Wärmegewinnung. Befreiungen sind daher für im Falle der Grundwassernutzung

nicht ersichtlich. Zudem erscheint zweifelhaft, ob von einer „unmittelbaren“ Wasserkraftnutzung gesprochen werden kann, da das Speicherwasser zunächst in das Oberbecken gepumpt wird, bevor es zur Stromerzeugung genutzt wird.

#### 2.5.3.3 Erdaufschlüsse gem. § 49 WHG

Wie dargestellt, soll möglicherweise aufgrund von Erdaufschlüssen (Bohrungen, vgl. oben 2.5.2.3) in den Boden eingedrungen werden. In diesem Fall wäre auch davon auszugehen, dass eine Einwirkung auf Eigenschaften des Grundwassers (Bewegung, Höhe oder Beschaffenheit) möglich ist. Dementsprechend sind der zuständigen Wasserbehörde die entsprechenden Arbeiten gemäß § 49 Abs. 1 S. 1 WHG einen Monat vor Beginn anzuzeigen.

Die zuständige Behörde hat gemäß § 49 Abs. 3 WHG zur Vermeidung einer nachteiligen Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit ggf. entsprechende Anordnungen zu treffen. Das Land Sachsen hat gemäß § 49 Abs. 4 WHG eine landesrechtliche Konkretisierung dieser Vorschrift vorgenommen: Wenn eine Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu besorgen oder eingetreten ist und die Schäden nicht durch Auflagen ausgeglichen werden können, hat die zuständige Wasserbehörde die Arbeiten nach § 45 SächsWG zu untersagen und die Einstellung begonnener Arbeiten anzuordnen. Inwieweit dies im Rahmen der Realisierung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks möglich wäre, ist bei der derzeitigen Darstellungstiefe nicht zu sagen.

#### 2.4.3.4 Eignungsfeststellung gem. §§ 62, 63 WHG

Eine behördliche Eignungsfeststellung kommt nur im Falle einer Lagerung von Gesteinsausbruch in Betracht, der wassergefährdende Stoffe enthält. Dies lässt sich vorliegend nicht ausschließen, kann aber beim derzeitigen Stand nicht abschließend beurteilt werden.

#### 2.5.3.5 Wasserschutzgebiet „Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida“

Zum besonderen Schutz von Gewässern ermöglicht es § 51 Abs. 1 WHG, durch Rechtsverordnung Wasserschutzgebiete festzusetzen. Durch diese Verordnung ist es gemäß § 52



Abs. 1 Nr. 1 WHG unter anderem möglich, bestimmte Handlungen innerhalb der Schutzgebiete zu verbieten oder nur für eingeschränkt zulässig zu erklären, oder gemäß § 52 Abs. 1 Nr. 2 Buchst. a) WHG grundstücksbezogene Handlungen, insbesondere die Grundstücksnutzung, zu regeln. Über die Vorgaben der Schutzgebietsverordnung hinaus können gemäß § 52 Abs. 1 S. 1, Abs. 3 WHG weitergehende Anforderungen durch behördliche Einzelfallentscheidungen festgelegt werden, und zwar ggf. auch außerhalb des Wasserschutzgebietes (vgl. allgemein oben 2.1.3.4).

Für das Modellbergwerk Pöhla ist in diesem Zusammenhang auf das Wasserschutzgebiet „Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida“ hinzuweisen, da sich aufgrund der möglichen Lage der Speicherbecken eine Beeinflussung oder gar räumliche Überschneidung mit diesem Schutzgebiet nicht von vornherein ausschließen lässt.

Rechtliche Grundlage für das Wasserschutzgebiet „Oberflächenwasserfassung“ ist die „Verordnung des Landkreises Annaberg zum Schutz der Gewässer im Einzugsgebiet der ‚Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida‘ (Gebietsnummer: T 5410505)“ vom 18. September 2007.<sup>162</sup> Gemäß § 1 der Verordnung erfolgt die Schutzgebietsfestsetzung im Interesse der öffentlichen Wasserversorgung zum Schutze der Gewässer im Einzugsgebiet der Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida. Das Wasserschutzgebiet ist gemäß § 2 Abs. 1 der Verordnung in drei Schutzzonen unterteilt (Schutzzone I – Fassungszone, Schutzzone II – engere Schutzzone, Schutzzone III – weitere Schutzzone). Durch eine mögliche Überschneidung der Speicherbecken mit dem Wasserschutzgebiet wären in einer Planungsvariante die Schutzzonen II und III dieses Wasserschutzgebietes betroffen (vgl. Teilbericht Umweltauswirkungen).

Schon die in § 3 der Verordnung festgelegten Verbote für die weitere Schutzzone (Schutzzone III) sind sehr weitgehend und können ggf. empfindliche Einschränkungen bei der Errichtung der unterirdischen Speicherbecken im Einzugsgebiet der Verordnung nach sich ziehen. So ist nach der Verordnung unter anderem verboten, grundwasserüberdeckende Schichten zu verletzen (§ 3 Nr. 7) bzw. Bergbau durchzuführen sowie bergbauliche Rückstände abzulagern bzw. aufzuhalden (§ 3 Nr. 8). Darüber hinaus ist in der engeren Schutzzone (Schutzzone II) unter anderem das Bohren und Sprengen (§ 4 Nr. 4) sowie die Durchführung von Erdbewegungen und Aufschüttungen (§ 4 Nr. 8) untersagt.

---

<sup>162</sup> Sächsisches Amtsblatt Nr. 48 vom 29.11.2007, S. 1680ff.

Die Errichtung eines Pumpspeicherwerkes in den Schutzzonen II bzw. III könnte damit unter Umständen Arbeiten erfordern, die gemäß § 3 bzw. § 4 der Verordnung grundsätzlich verboten sind. Befreiungen von den Verboten sind gemäß § 8 der Verordnung unter Rückgriff auf § 48 Abs. 10 SächsWG nur dann zulässig, wenn überwiegende Interessen des Allgemeinwohls oder des Einzelnen dies erfordern und der Zweck der Schutzbestimmung auf andere Weise gewahrt wird. Die Entscheidung hierüber steht im Ermessen der zuständigen Wasserbehörde. Nach § 8 Abs. 3 der Verordnung kann die Befreiung mit Bedingungen und Auflagen versehen werden, beispielsweise, um eine Drainagewirkung oder eine Schadstoffmobilisierung zu verhindern.

Sollten sich Beeinträchtigungen auch durch Auflagen oder Bedingungen nicht sicher ausschließen lassen, käme eine Ausnahmegenehmigung gemäß § 52 Abs. 1 S. 2 WHG nur noch in Betracht, wenn überwiegende Gründe des Allgemeinwohls dies erfordern. Hierbei müssten die denkbaren Beeinträchtigungen der öffentlichen Wasserversorgung gegen die Bedeutung des untertägigen Pumpspeicherwerkes für die Energieversorgung abgewogen werden. Eine abschließende Beurteilung ist aufgrund der vorhandenen Informationen nicht möglich, doch ist die Möglichkeit einer Ausnahmegenehmigung generell zurückhaltend zu betrachten. Dies gilt umso mehr, als dass aufgrund der oben beschriebenen möglichen Vorbelastungen des Wassers (siehe oben 2.5.3.2.1 sowie im Teilbericht Umweltauswirkungen) ausgeschlossen sein müsste, dass Stoffe, die geeignet sind, erhebliche Beeinträchtigungen der Wasserqualität hervorzurufen, auf dem Wege der erforderlichen Wasserhaltung mobilisiert werden und in das geschützte Wasserschutzgebiet gelangen. Ebenfalls ist eine mögliche Drainagewirkung auszuschließen (vgl. insgesamt hierzu im Teilbericht Umweltauswirkungen).

Zu prüfen ist darüber hinaus, ob negative Auswirkungen, die auch die Schutzzone I betreffen können, eintreten und zu behördlichen Einzelfallentscheidungen Anlass geben können, selbst wenn das untertägige Pumpspeicherwerk außerhalb des Wasserschutzgebietes liegen sollte.

Inwieweit genehmigungsrechtliche Schwierigkeiten tatsächlich am Modellbergwerk Pöhla auftreten könnten, ist nach derzeitigem Stand nicht bekannt. Sollten sich Gefahren für das Wasserschutzgebiet auch nicht durch Auflagen oder Bedingungen ausschließen lassen, wäre die Zulässigkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerkes am Standort Pöhla sehr problematisch.

Im Ergebnis sollte möglichst vermieden werden, dass die Speicherbecken in das Wasserschutzgebiet „Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida“ hineinreichen. Zudem ist bei der Anlage der Speicherbecken zu beachten, dass sich eine Beeinträchtigung des Wasserschutzgebietes selbst dann ergeben kann, wenn die Speicherbecken außerhalb dieses Schutzgebietes liegen sollten.

#### 2.5.3.6 Gewässerausbau gemäß §§ 67, 68 WHG

Hinsichtlich der Vorschriften zum Gewässerausbau ist ebenfalls auf den allgemeinen Teil zu verweisen (oben 2.1.3.1.2). Die Anwendung der §§ 67, 68 WHG auf die Errichtung der Speicherbecken ist mangels Gewässereigenschaft von vornherein zu verneinen. Hingegen erscheint ein Gewässerausbau bei Einrichtung einer umfangreichen Grundwasserhaltung wie für Errichtung und Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes naheliegend. Allerdings ist die Anwendbarkeit der §§ 67, 68 WHG auf Grundwassersachverhalte keineswegs gesichert. Auch das Landeswasserrecht des Freistaates Sachsen spricht einen Gewässerausbau nur im Zusammenhang mit oberirdischen Gewässern (§§ 78 ff. SächsWG) und Küstengewässern (§§ 100e ff. SächsWG) an.

#### 2.5.3.7 Zwischenergebnis

Auch für das Modellbergwerk Pöhla ist auf die allgemeinen Ausführungen zu den Gewässerbenutzungen und zum Gewässerausbau zu verweisen. Die Annahme eines Gewässerausbaus bei Grundwassersachverhalten, hier also der Einrichtung einer Grundwasserhaltung, ist umstritten. Eine Entgeltpflicht für Wasserbenutzungen gemäß § 23 Abs. 1 SächsWG ist sowohl für die Ableitung überschüssigen Wassers als auch für die Befüllung der Speicherbecken anzunehmen.

Erforderliche Erdaufschlüsse sind der zuständigen Wasserbehörde gemäß § 49 Abs. 1 S. 1 WHG einen Monat vor Beginn anzuzeigen. Die Notwendigkeit einer behördlichen Eigenschaftsfeststellung nach §§ 62, 63 WHG im Falle einer etwaigen Lagerung von Gesteinsaushub lässt sich derzeit nicht abschließend beurteilen.

Besondere Beachtung beigemessen werden muss der Verordnung zum Wasserschutzgebiet „Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida“. Diese würden eine Ausnahmegegenehmigung für die Erstreckung der Speicherbecken in das Wasserschutzgebiet erforder-

lich machen. Die Anlage der Speicherbecken sollte daher möglichst außerhalb des Wasserschutzgebietes erfolgen. Zudem sind etwaige Auswirkungen auf das Wasserschutzgebiet auch dann zu berücksichtigen, wenn die Speicherbecken außerhalb dieses Schutzgebietes liegen.

## **2.5.4 Baurecht**

### **2.5.4.1 Unterirdisches Pumpspeicherwerk als solches**

Im Bereich baurechtlicher Vorschriften ist zunächst auf bauordnungsrechtliche Normen einzugehen. Wie hierzu im allgemeinen Teil ausgeführt wurde (vgl. unter 2.1.4.1), ist die Anwendbarkeit bauordnungsrechtlicher Vorschriften durchaus denkbar. Dieser Befund lässt sich auch für die sächsische Bauordnung aufrecht erhalten. Zwar sind – anders als in Niedersachsen (vgl. oben 2.4.4.1) – künstliche Hohlräume unter der Erdoberfläche nicht explizit vom Begriff der „baulichen Anlage“ i.S.d. SächsBO umfasst. Dass der SächsBO ein unterirdischer Bezug aber nicht fremd ist, zeigt, dass auch unterirdische Gebäude vom Anwendungsbereich erfasst sind, wie § 2 Abs. 3 Nr. 5 SächsBO klarstellt. Zudem werden nach § 1 Abs. 2 Nr. 2 SächsBO Anlagen vom Anwendungsbereich der SächsBO weitgehend ausgenommen, sofern sie der Bergaufsicht unterliegen und keine Gebäude darstellen. Im Umkehrschluss deutet dies darauf hin, dass Grubenbaue und sonstige untertägige Anlagen, die nicht der Bergaufsicht unterliegen, in den Anwendungsbereich der SächsBO fallen. Hierfür spricht schließlich auch die Regelung des § 2 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 SächsBO: Da hiernach (oberirdische) „Abgrabungen“ unter die Landesbauordnung fallen, liegt Entsprechendes auch für untertägige „Grabungen“ nahe.

Allerdings ist vorliegend zu beachten, dass für das Bergwerk Pöhla ein Abschlussbetriebsplan besteht und dieses daher noch der Bergaufsicht unterliegt. Insoweit ist fraglich, ob die Ausnahmegvorschrift des § 1 Abs. 2 Nr. 2 SächsBO (der Bergaufsicht unterliegende Anlagen) eingreift. Die Bergaufsicht ist jedoch beschränkt auf den Geltungsbereich des BBergG. Eine bergbaufremde Folgenutzung kann nicht unter das Bergrecht gefasst werden, sondern muss nach den dafür geltenden Rechtsvorschriften behandelt werden (siehe oben 2.1.2.3). Insbesondere die Auffahrung der Hohlräume fällt nicht unter das BBergG. Diese ist lediglich anzeigepflichtig durch die gefahrenabwehrrechtlich ausgestaltete sächsische Hohlraumverordnung (siehe unter 2.5.2.5). Daher ist eine bauordnungsrechtliche Genehmigungspflicht anzunehmen.

Ob bzw. an welchem Ort im Rahmen einer Realisierung eines oberirdischen Pumpspeicherwerks obertägige Anlagen zu errichten sind, ist bei derzeitiger Betrachtungstiefe nicht festgelegt. Die zu Bergbauzeiten vorhandenen obertägigen Betriebsanlagen wurden nach Beendigung des Bergbaus vollständig zurückgebaut (vgl. Teilbericht Bergbau). Aufgrund der angedachten Lage der Speicherbecken (vgl. Teilbericht Umweltauswirkungen) ist wahrscheinlich, dass etwaige Kontrollgebäude in unmittelbarer Nähe und damit im Außenbereich errichtet werden würden. Da es sich um Gebäude in engem Zusammenhang mit dem unterirdischen Pumpspeicherwerk handeln würde, könnten diese unter die privilegierten Vorhaben zur Nutzung der Wasserenergie gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 5 BauGB gefasst werden. Die Errichtung solcher Vorhaben im Außenbereich ist nach § 35 Abs. 1 BauGB zulässig, wenn öffentliche Belange nicht entgegenstehen und die ausreichende Erschließung gesichert ist. Entgegenstehende öffentliche Belange könnten beispielsweise gegeben sein, sofern durch die Errichtung eine Beeinträchtigung des Wasserschutzgebiets „Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida“ zu besorgen ist (vgl. dazu schon unter 2.5.3.4).

#### 2.5.4.2 Aufhaldung von Gesteinsaushub

Bezogen auf die temporäre oder endgültige Aufhaldung von Gesteinsaushub an der Wiemannsbucht ist zunächst festzuhalten, dass Gesteinshalden als Aufschüttungen im Sinne des § 2 Abs. 1 Nr. 1 SächsBO als einer baulichen Anlage gleichgestellt in den Anwendungsbereich des Landesbauordnungsrecht fallen können. Da die Aufhaldung nicht im Rahmen einer bergbaulichen Tätigkeit unter dem Geltungsbereich des BBergG anfällt, greift zudem die Bereichsausnahme des § 1 Abs. 2 Nr. 2 SächsBO nicht ein. Die Anwendbarkeit des Bauordnungsrechts neben den Vorschriften zur Aufhaldung von Abfällen (vgl. oben 2.1.1.3 sowie 2.4.1) ist möglich.<sup>163</sup>

Bauplanungsrechtlich ist zu beachten, dass sich die zur Aufhaldung angedachte Luchsbachhalde ebenfalls im Außenbereich befindet. Da die Aufhaldung von größeren Gesteinsmassen allein im Außenbereich sinnvoll möglich ist, könnte eine solche Maßnahme unter § 35 Abs. 1 Nr. 4 BauGB gefasst werden und damit bauplanungsrechtlich zulässig sein. Weiterhin ist zu beachten, dass § 38 S. 1 BauGB eine Sonderregelung für das Baupla-

---

<sup>163</sup> Große-Suchsdorf, NBauO, § 2 Rn. 17.

nungsrecht enthält, sofern ein Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahren Anwendung findet, was hier in Betracht kommt. Einem untertägigen Pumpspeicherwerk Pöhla dürfte auch überörtliche Bedeutung zukommen. Im Falle eines Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahrens wäre daher keine strikte Prüfung der §§ 29ff. BauGB vorzunehmen, sondern die städtebaulichen Belange wären in der Gesamtabwägung im Rahmen des Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahrens zu berücksichtigen.

#### 2.5.4.3 Netzanbindung

Bei der Anwendung baurechtlicher Vorschriften hinsichtlich von Erdkabeln bzw. Hochspannungsfreileitungen ist zu beachten, dass auch nach dem Landesbauordnungsrecht des Freistaates Sachsen ein Anwendungsausschluss hinsichtlich von Leitungen gemäß § 1 Abs. 2 Nr. 3 SächsBO besteht. Neue Masten können zwar als bauliche Anlage gemäß § 2 Abs. 1 S. 1 SächsBO angesehen werden. Jedoch sind diese nach § 61 Abs. 1 Nr. 4 lit. b SächsBO genehmigungsfrei gestellt; eine Baugenehmigung ist demnach nicht notwendig, was allerdings nicht von der Einhaltung genehmigungsrechtlicher Vorgaben entbunden.<sup>164</sup> Somit sind u.a. die bauplanungsrechtlichen Vorschriften der §§ 29ff. BauGB zu beachten. Soweit durch die Freileitungstrasse der Außenbereich betroffen wäre, sind Freileitungen gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB privilegiert zu behandeln. Wiederum ist § 38 S. 1 BauGB zu berücksichtigen (oben 2.5.4.2).

### 2.5.5 Energiewirtschaftsrecht

Genehmigungsrechtliche Anforderungen können sich auch hinsichtlich der Netzanbindung ergeben. Nach bergbaulichen (vgl. im Teilbericht Bergbau) und energiesystemtechnischen (vgl. im Teilbericht Energiesystemtechnik) Überlegungen wird für den Standort Pöhla folgende Netzanbindung vorgesehen: auf einem ersten Abschnitt (Ausgang Stollen 7 bis Umspannwerk Rittersgrün) eine ca. 10 km umfassende Erdverkabelung, danach ein ca. 15 bis 20 km langer 110-kV-Freileitungsabschnitt bis zum Umspannwerk Zwönitz, wobei sowohl die Möglichkeit der Neutrassierung als auch eine Verstärkung der schon bestehenden 110kV-Freileitung in Betracht gezogen wird.

---

<sup>164</sup> Germer/Loibl, S. 557.

Rechtlich gesehen muss wie beim Modellbergwerk Grund zwischen diesen beiden Abschnitten unterschieden werden. Für eine Hochspannungsfreileitung mit einer Nennspannung von 110 kV oder mehr sieht § 43 S. 1 Nr. 1 EnWG ein Planfeststellungsverfahren vor. Allerdings kann der Vorhabenträger gemäß § 43b Nr. 2 EnWG eine bloße Plangenehmigung beantragen, wenn eine Umweltverträglichkeitsprüfung nicht durchzuführen ist. Dies ist bei der hier relevanten Leitungslänge und Spannungsebene nach Nr. 19.1.2. oder Nr. 19.1.3 Anlage 1 UVPG aufgrund einer allgemeinen Vorprüfung des Einzelfalls zu entscheiden (dazu oben 2.1.7.2). Für den Erdleitungsabschnitt ist ein Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsverfahren bundesrechtlich nur in Ausnahmefällen vorgesehen, die vorliegend nicht einschlägig sind. Erforderliche Genehmigungen, etwa nach Naturschutz- oder Wasserrecht, sind daher in gesonderten Verfahren einzuholen.<sup>165</sup>

## **2.5.6 Weitere genehmigungsrechtlich relevante Rechtsgebiete**

### **2.5.6.1 UVP-Recht**

Wie ausgeführt, ist für bestimmte Vorhaben eine Umweltverträglichkeitsprüfung vorgeschrieben oder zumindest zu prüfen, ob eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich ist. Im Folgenden werden die Vorhaben betrachtet, die zu einer Umweltverträglichkeitsprüfung führen können. Dabei wird unterschieden zwischen dem unterirdischen Pumpspeicherwerk selbst, einer notwendigen Netzanbindung sowie dem ggf. temporär aufzuhaltenden Gesteinsaushub. Maßgeblich ist das bundesrechtliche UVPG. Landesrechtliche Besonderheiten in Gestalt des SächsUVPG, welches neben dem UVPG anwendbar ist, sind vorliegend nicht ersichtlich.

#### **2.5.6.1.1 Unterirdische Pumpspeicheranlage**

##### **2.5.6.1.1.1 Tatbestände der Anlage 1 UVPG**

Im Rahmen eines unterirdischen Pumpspeicherwerks kommen, wie im allgemeinen Teil ausgeführt (siehe oben 2.1.6), mehrere Vorhaben i.S.d. Anlage 1 UVPG in Betracht. Eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls ist hinsichtlich des Baus einer Wasserkraftanlage vorzunehmen (Nr. 13.14). Bezogen auf die Speicherbecken ist von einer Größe von ca.

---

<sup>165</sup> Schneller, DVBl 2007, 529 (535).



307.000 bis zu ca. 345.000 m<sup>3</sup> pro Becken auszugehen. Dies würde nach Nr. 19.9.3 Anlage 1 UVP (Errichtung und Betrieb eines künstlichen Wasserspeichers mit 5000 m<sup>3</sup> bis weniger als 2 Mio. m<sup>3</sup> Wasser) eine standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls verlangen. Hinsichtlich einer etwaigen Grundwasserentnahme zur Befüllung der Speicherbecken wäre im Hinblick auf deren Größe von einem Volumen zwischen 100.000 und 10 Mio. m<sup>3</sup> Wasser auszugehen, was eine Pflicht zur allgemeinen Vorprüfung des Einzelfalls begründet (Nr. 13.3.2). Die Wasserableitung würde sich, sofern sich der derzeitige Maßstab des Anfallens von Wasser im Pöhla-Stollen (ca. 35 m<sup>3</sup>/h) nicht ändert (vgl. Teilbericht Bergbau), voraussichtlich auf eine Gesamtabführung von ca. 840 m<sup>3</sup> Wasser pro Tag belaufen. Damit ergäbe sich eine jährliche Gesamtmenge von ca. 307.000 m<sup>3</sup> Wasser, was ebenfalls eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls nach Nr. 13.3.2 Anlage 1 UVP erforderlich machen würde. Hierzu können aufgrund der vorliegenden Betrachtungstiefe keine Aussagen getroffen werden.

#### 2.5.6.1.1.2 Einzelfallprüfung anhand § 3c i.V.m. Anlage 2 UVP

Hinsichtlich einer Einzelfallprüfung kann weitgehend auf die entsprechenden Ausführungen zum Modellbergwerk Grund verwiesen werden (siehe unter 2.4.7.1.1.2). Auch für Pöhla liegen die Volumina der Speicherbecken (Nr. 19.9.3 Anlage 1 UVP) sowie der Wasserentnahme und -ableitung (Nr. 13.3.2) deutlich unter den dort genannten Obergrenzen. Andererseits würde Wasser jedoch in nicht unerheblichem Umfang dauerhaft genutzt, zudem müsste aufgrund einer neuen Grundwasserhaltung stetig überschüssiges Wasser über den Pöhla-Stollen in den natürlichen Wasserkreislauf abgeleitet werden. Insbesondere die aktuelle Notwendigkeit der Wasserbehandlung, welche nach derzeitiger Einschätzung wahrscheinlich noch längerfristig erfolgen muss<sup>166</sup> sowie die weiteren Umweltbelastungen, welche bei Nutzung des Modellbergwerks auftreten können (vgl. Teilbericht Umweltauswirkungen) sowie eine nicht auszuschließende Beeinflussung des Wasserschutzgebietes „Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida“ deuten auf eine hohe Wahrscheinlichkeit hin, dass eine überschlägige Prüfung die Notwendigkeit der Vornahme einer Umweltverträglichkeitsprüfung ergibt.

---

<sup>166</sup> Umweltbericht 2009 der Wismut GmbH, S. 25, abrufbar im Internet unter <http://www.wismut.de/de/downloads/umweltbericht2009.pdf>, zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011.

#### 2.5.6.1.2 Netzanbindung

Soweit eine Erdverkabelung vorgenommen wird, ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung von vornherein nicht vorgesehen. Auch das SächsUVPG sieht hierzu keine Besonderheiten vor. Aus Sicht der Umweltverträglichkeitsprüfung ist daher nur der Abschnitt relevant, der eine Hochspannungsfreileitung vorsieht. Dies wäre vorliegend ein ca. 15 bis 20 km langer Abschnitt parallel zu einer schon bestehenden Hochspannungstrasse der Enviam zwischen Rittergrün und Zwönitz. Hinzuweisen ist darauf, dass durch eine Verstärkung der bestehenden Freileitung ggf. die Errichtung einer neuen parallel geführten Freileitungstrasse ganz entfallen könnte.

Gemäß Nr. 19.1.2 der Anlage 1 UVPG besteht für die Errichtung und den Betrieb einer Hochspannungsfreileitung mit einer Länge von mehr als 15 km bei einer Nennspannung von 110 kV bis zu 220 kV keine Pflicht zu einer zwingenden Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Vielmehr ist eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls durchzuführen. Wiederum ist § 3c i.V.m. Anlage 2 UVPG zu beachten. Gleiches gilt nach Nr. 19.1.3, falls die Leitungslänge bei einer Nennspannung von 110 kV knapp unter 15 km bleiben sollte.

Hinsichtlich der Kriterien für die Vorprüfung des Einzelfalls gemäß Anlage 2 UVPG sollen an dieser Stelle einige kurz angesprochen werden. So könnte der Umstand, dass die neue Hochspannungsfreileitung parallel zu einer bereits bestehenden Leitungstrasse verlaufen soll, gegen eine Umweltverträglichkeitsprüfung sprechen, da durch die Nutzung einer bereits bestehenden Trasse ein geringerer Eingriff besteht als bei Durchführung einer Neutrassierung, die ihrerseits zu einer weiteren Zerschneidung des Raumes führen würde. Erst recht gilt dies im Falle einer bloßen Verstärkung der bestehenden Trasse. Für eine Umweltverträglichkeitsprüfung könnte nach Nr. 2.3.4 Anlage 2 UVPG hingegen sprechen, dass die Trassierung das FFH-Gebiet Kutenbach, Moosheide und Vordere Aue zumindest am Rande tangiert. Relevant ist zudem die Größe des Vorhabens (Nr. 1.1 Anlage 2 UVPG). Dabei ist zu beachten, dass die Länge der Hochspannungsfreileitung mit ca. 15 bis 20 km zwar nur knapp über dem Eröffnungswert der Nr. 19.1.2 Anlage 1 UVPG (ab 15 km) liegt, dass Nr. 19.1.3 eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls aber bereits für eine Länge von 5 bis 15 km vorsieht. Auch dies spricht eher für die Vornahme einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Daneben wird zu berücksichtigen sein, wie groß die Masten gestaltet werden, da auch die Nutzung und Gestaltung der Landschaft nach Nr. 1.2 Anlage 2 UVPG ein

zu berücksichtigendes Merkmal darstellt. Eine Entscheidung über die Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung ist daher nur im konkretisierten Einzelfall möglich.

#### 2.5.6.1.3 Aufhaldung von Gesteinsaushub

Für den Fall, dass eine Aufhaldung von Gesteinsaushub vorgenommen werden soll, ist zu unterscheiden, ob dies endgültig (dann Prüfung von Nr. 12 Anlage 1 UVPG) oder temporär (dann Prüfung von Nr. 8.9 Anlage 1 UVPG) geschehen soll. Zusätzlich muss zwischen gefährlichem und nicht gefährlichem Abfall sowie der anfallenden Menge differenziert werden (vgl. hierzu auch die allgemeinen Ausführungen unter 2.1.6.2). Vorliegend können hierzu im Rahmen einer Machbarkeitsstudie keine tiefergehenden Aussagen getroffen werden. Dies wäre im Falle einer etwaigen Realisierung zu vertiefen. Sofern sich allerdings ergeben sollte, dass durch die Auffahrung der Speicherbecken belastetes Material zu Tage gefördert wird, wäre die Notwendigkeit der Durchführung einer UVP als wahrscheinlich einzuschätzen.

#### 2.5.6.2 Naturschutzrecht

##### 2.5.6.2.1 Prüfungsumfang

Naturschutzrechtliche Fragen werden insbesondere im Teilbericht zu Umweltauswirkungen erörtert. An dieser Stelle soll nur auf möglicherweise betroffene Schutzgebiete eingegangen werden. Das Naturschutzgebiet „Zweibach“ wird bei der Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks nicht berührt. Vorliegend könnte jedoch insbesondere das Vogelschutzgebiet „Fichtelberggebiet“ betroffen sein (siehe hierzu auch im Teilbericht Umweltauswirkungen).

##### 2.5.6.2.2 Vogelschutzgebiet „Fichtelberggebiet“

###### 2.5.6.2.2.1 Erforderliche Maßnahmen

Genauere Angaben zu im Rahmen der Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks am Standort Pöhla notwendigen Maßnahmen im Bereich des SPA „Fichtelberggebiet“ sind derzeit nicht bekannt. Denkbar wären unter anderem der Bau von Kontroll- oder Versorgungsgebäuden, die temporäre Aufhaldung von Aushubmateri-

al vor dem Abtransport zur Luchsbachhalde sowie die Netzanbindung in Gestalt einer Erdverkabelung. Für den Abtransport des Gesteinsaushubs zur Luchsbachhalde kommt ein Transport per LKW und damit die Errichtung eines Straßenteilstücks mit einer Länge von ca. 300 m ab Stollenmundloch 7 bis zur Verkehrsanbindung bei Zweibach sowie laut Teilbericht Bergbau alternativ die Errichtung einer oberirdischen Bandanlage von Stollen 7 bis zur Luchsbachhalde mit einer Länge von ca. 6,7 km in Betracht.<sup>167</sup>

#### 2.5.6.2.2.2 Verordnung zum Vogelschutzgebiet „Fichtelberggebiet“

Für das Vogelschutzgebiet „Fichtelberggebiet“ existiert die Verordnung des Regierungspräsidiums Chemnitz zur Bestimmung des Europäischen Vogelschutzgebietes „Fichtelberggebiet“, welche unter anderem die Erhaltungsziele des Gebietes festlegt (§ 3) sowie zulässige Nutzungen umschreibt (§ 4). Die nach dieser Verordnung zulässigen Nutzungen sind eng gefasst und nur zulässig, soweit hierdurch das Vogelschutzgebiet nicht in seinen für die Erhaltungsziele maßgeblichen Bestandteilen erheblich beeinträchtigt werden kann oder soweit nicht anderweitige Rechtsvorschriften entgegenstehen. Hieraus lässt sich allerdings nicht der Rückschluss herleiten, dass Maßnahmen, die in § 4 der Verordnung nicht genannt wurden, unzulässig sind. Denn die unter Verweis auf § 22a Abs. 6 SächsNatSchG erlassene sog. Grundschutzverordnung zum Vogelschutzgebiet hat insbesondere das Ziel, die rechtliche Sicherung von Natura-2000-Gebieten durch Nennung der verbindlichen Erhaltungsziele für das Schutzgebiet zu ermöglichen. Diese Erhaltungsziele sind nach Auskunft des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie der Maßstab für die Verträglichkeitsprüfung gemäß § 34 BNatSchG,<sup>168</sup> vgl. auch § 34 Abs. 1 S. 2 i.V.m. §§ 32 Abs. 2, 20 Abs. 2 BNatSchG.

Im Ergebnis ist daher festzuhalten, dass die Errichtung eines unterirdischen Pumpspeicherwerks mit seinen obertägig vorhandenen Auswirkungen nicht unter die zulässigen

---

<sup>167</sup> Es wird davon ausgegangen, dass auch die Bandanlage das Naturschutzgebiet „Zweibach“ nicht tangiert. Ansonsten würde eine solche Maßnahme unter das absolute Veränderungsverbot des § 23 Abs. 2 BNatSchG fallen und wäre daher nur im Falle einer Befreiung nach § 67 BNatSchG zulässig.

<sup>168</sup> Vgl. Internetpräsenz des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, abrufbar unter <http://www.smul.sachsen.de/umwelt/natur/20030.htm>, zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011. Dabei ist weiter zu beachten, dass bei der Umsetzung von Natura 2000 in Sachsen kooperative Lösungen Priorität haben; das Prinzip des Vorrangs vertraglicher Vereinbarungen vor hoheitlichem Handeln ist in der Grundschutzverordnung verbindlich verankert; vgl. § 4 S. 2 der Verordnung.

Nutzungen des § 4 der Verordnung subsumiert werden kann, hieraus aber kein Ausschluss des Vorhabens resultiert. Vielmehr ist eine Verträglichkeitsprüfung nach § 34 BNatSchG vorzunehmen, wenn dieses Vorhaben einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Projekten geeignet ist, das Gebiet erheblich zu beeinträchtigen (dazu sogleich).

#### 2.5.6.2.2.3 Verträglichkeitsprüfung nach § 34 BNatSchG

Nach § 34 Abs. 1 S. 1 BNatSchG wird eine Verträglichkeitsprüfung für Projekte vorgesehen, die geeignet sind, ein Natura 2000-Gebiet erheblich zu beeinträchtigen. Sofern eine überschlägige Vorprüfung ergibt, dass erhebliche Beeinträchtigungen nicht offensichtlich ausgeschlossen werden können bzw. ernstlich zu erwarten sind, ist eine Verträglichkeitsprüfung durchzuführen. Nach § 34 Abs. 1 S. 2 BNatSchG ergeben sich die Maßstäbe für die Verträglichkeit, soweit ein Natura 2000-Gebiet ein geschützter Teil von Natur und Landschaft im Sinne des § 20 Abs. 2 BNatSchG ist, aus der hierzu erlassenen Rechtsverordnung, wenn hierbei die jeweiligen Erhaltungsziele des Natura 2000-Gebietes bereits berücksichtigt wurden. Maßstab für das Vogelschutzgebiet „Fichtelberggebiet“ ist die unter 2.5.6.2.2.2 behandelte Grundschutzverordnung, die Erhaltungsziele sind in § 3 der Verordnung aufgelistet.

Ergibt die Verträglichkeitsprüfung, dass durch das Projekt die Möglichkeit einer erheblichen Beeinträchtigung des Gebietes in seinen für die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen führen kann, ist das Projekt gemäß § 34 Abs. 2 BNatSchG unzulässig. Eine Abweichung wäre dann nur unter den kumulativ zu erfüllenden Voraussetzungen des § 34 Abs. 3 BNatSchG möglich. Sofern im Gebiet vorkommende prioritäre natürliche Lebensraumtypen von dem Projekt betroffen werden können, sind die strengeren Voraussetzungen des § 34 Abs. 4 BNatSchG zu beachten.

Vorliegend können aufgrund des Projektstandes keine Aussagen über den Ausgang einer Verträglichkeitsprüfung getroffen werden. Da sich in den Erhaltungszielen verschiedene Brutvogelarten nach Anhang I der Europäischen Vogelschutzrichtlinie wiederfinden, könnte darauf zu achten sein, dass obertägige Maßnahmen im Vogelschutzgebiet „Fichtelberggebiet“ auf Brutzeiten Rücksicht nehmen. Sofern die Prüfung der Verträglichkeit der Erdverkabelung negativ ausfiele, könnte eine Abweichungsentscheidung insbesondere scheitern, wenn nach § 34 Abs. 3 Nr. 2 BNatSchG zumutbare alternative Trassierungen möglich erscheinen.

### **2.5.7 Raumordnungsrecht**

Im Zusammenhang mit Raumordnungsfragen ist zunächst auf die allgemeinen Ausführungen zu verweisen (vgl. unter 2.3). Nach § 1 Nr. 14 RoV kann die Errichtung einer Hochspannungsfreileitung mit einer Nennspannung von 110 kV grundsätzlich erfasst werden. Angesichts der Länge des Freileitungsabschnittes von 15 bis 20 Kilometern erscheint die Raumbedeutsamkeit des Vorhabens wie auch dessen überörtliche Bedeutung denkbar.

Hinsichtlich der Oberflächenauswirkungen ist zu berücksichtigen, dass die erforderlichen baulichen Anlagen neu errichtet werden müssen. Daneben ist vor allem eine etwaige Aufhaldung von Gesteinsaushub relevant. Insoweit könnte ein Raumordnungsverfahren nach § 1 Nr. 1 bzw. § 1 Nr. 4 RoV im Einzelfall notwendig werden, je nachdem, ob von einer Lagerung oder einer Ablagerung des Gesteinsaushubs ausgegangen wird. Die Raumbedeutsamkeit könnte nach den obigen Überlegungen ab einem Oberflächenverbrauch von 10 ha, ggf. auch bereits 5 ha, in Betracht gezogen werden. Dies kann vorliegend noch nicht abschließend beurteilt werden.

### **2.5.8 Zusammenfassung zum Modellbergwerk Pöhla**

Im Ergebnis sind nach derzeitigem Stand die Errichtung und der Betrieb eines unterirdischen Pumpspeicherwerks auch am Standort Pöhla nicht ausgeschlossen. Im Unterschied zum Modellbergwerk Grund ergeben sich aufgrund der Wahrscheinlichkeit von Belastungen allerdings größere Problemfelder bzw. Unsicherheiten hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit.

Die Anwendbarkeit bergrechtlicher Vorschriften bezüglich des Modellbergwerks Pöhla ist ebenfalls begrenzt. Relevant sind wiederum Anzeigepflichten für Bohrungen nach § 50 Abs. 1 BBergG sowie § 4 Abs. 1 LagerstG. Als Besonderheit ist zu beachten, dass in Sachsen aufgrund der SächsHohlrVO eine Anzeigepflicht für die Errichtung und Nutzung unterirdischer Hohlräume besteht und insoweit auch eine Zuständigkeit der Bergbehörden gegeben ist. Zudem unterfällt das Modellbergwerk Pöhla derzeit noch der Bergaufsicht, so dass der bestehende Abschlussbetriebsplan an eine Folgenutzung mittels eines unterirdischen Pumpspeicherwerks angepasst werden müsste; die Folgenutzung selbst unterliegt jedoch den hierfür einschlägigen Genehmigungsvorschriften außerhalb des Bergrechts. Zudem wäre der Betriebsplan für das im Rahmen des Modellbergwerks Pöhla bestehende

Besucherbergwerk anzupassen, falls Errichtung oder Betrieb des untertägigen Pumpspeicherwerkes Auswirkungen auf das Besucherbergwerk haben sollten (insbesondere Nutzung des Pöhla-Stollens als Transportweg).

Hinsichtlich der Landesbauordnung ist von einer Erfassung der Auffahrung der Speicherbecken auszugehen, wenngleich die SächsBO – anders als die niedersächsische Vorschrift – nicht explizit künstliche Hohlräume unterhalb der Erdoberfläche erfasst. Bauplanungsrechtlich ist nach derzeitigem Stand davon auszugehen, dass sowohl zu errichtende Gebäude als auch die Aufhaldung des Gesteinsaushubs im Außenbereich nach § 35 Abs. 1 Nr. 5 bzw. Nr. 4 BauGB denkbar sind.

Aus wasserrechtlicher Sicht ist wiederum die Annahme eines Gewässerausbaus hinsichtlich der Errichtung der Speicherbecken zu verneinen. Vielmehr dürfte für Errichtung und Nutzung der Speicherbecken ein Planfeststellungsverfahren gemäß § 20 UVPG einschlägig sein. Erdaufschlüsse durch Bohrungen sind der zuständigen Wasserbehörde gemäß § 49 Abs. 1 S. 1 WHG anzuzeigen. Eine behördliche Eignungsfeststellung gem. §§ 62, 63 WHG wäre erforderlich, falls eine Lagerung von Gesteinsaushub erfolgen soll, der wassergefährdende Stoffe enthält. Dies kann beim derzeitigen Stand nicht abschließend beurteilt werden.

Auch für das Modellbergwerk Pöhla sind diverse wasserrechtliche Genehmigungen für Benutzungen nach § 9 WHG erforderlich. Aufgrund der Belastung des überlaufenden Flutungswassers im Modellbergwerk Pöhla ist voraussichtlich eine kontinuierliche Wasserbehandlung notwendig, bevor eine Einleitung in den Luchsbach erfolgen darf, so dass entsprechende Nebenbestimmungen für das Zutagefördern, Zutageleiten bzw. Ableiten des Grundwassers nach § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG wahrscheinlich sind. Eine Entgeltpflicht für Wasserbenutzungen gemäß § 23 Abs. 1 SächsWG ist sowohl für die Ableitung überschüssigen Wassers als auch für die Befüllung der Speicherbecken anzunehmen. Bislang nicht abschließend geklärt ist, ob in der Installierung einer Grundwasserhaltung ein Gewässerausbau nach §§ 67, 68 WHG liegen kann, was nach hier vertretener Ansicht für denkbar gehalten wird. In diesem Umfang wären wasserrechtliche Benutzungen gemäß § 9 Abs. 3 WHG nicht gegeben, sondern ein wasserrechtliches Planfeststellungsverfahren durchzuführen.

Wiederum könnte durch das Vorhaben ein nahegelegenes Wasserschutzgebiet („Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida“) betroffen sein. Um die Notwendigkeit von Aus-



nahmegenehmigungen nach der zugehörigen Verordnung zu vermeiden, sollte die Errichtung der Speicherbecken möglichst außerhalb des Wasserschutzgebietes erfolgen. Auch an dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass etwaige Auswirkungen auf das Wasserschutzgebiet auch dann zu berücksichtigen sind, wenn die Speicherbecken außerhalb des Schutzgebietes liegen.

Hinsichtlich einer etwaigen Aufhaldung des Aushubmaterials ist zu differenzieren, ob es sich um eine (temporäre) Lagerung (dann immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren nach § 10 bzw. § 19 BImSchG) oder eine (endgültige) Ablagerung (dann abfallrechtliches Planfeststellungsverfahren nach § 31 Abs. 2 KrW-/AbfG) handelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Zustand sowie Verwendungsmöglichkeiten des Aushubmaterials in diesem Stadium nicht genau bekannt sind, aber Belastungen durch Uran, Radium, Arsen, Mangan und Eisen möglich erscheinen. Damit könnten gefährliche Abfälle i.S.d. § 3 Abs. 8 sowie § 41 S. 2 KrW-/AbfG gegeben sein. Sondervorschriften gelten, falls eine Beseitigung auf Grundlage des Strahlenvorsorgegesetzes erfolgt oder nach § 118 StrlSchV aufgrund des Einigungsvertrages fortgeltendes Recht zur Anwendung kommt.

Bezüglich der Netzanbindung sind eine abschnittsweise Erdverkabelung sowie anschließend ein ca. 15 bis 20 km langer Freileitungsabschnitt vorgesehen. Hinsichtlich der Erdverkabelung müsste in Ermangelung eines Planfeststellungsverfahrens auf Einzelgenehmigungsverfahren zurückgegriffen werden, für den Freileitungsabschnitt käme grundsätzlich ein Planfeststellungsverfahren nach § 43 S. 1 Nr. 1 EnWG zur Anwendung.

Aus naturschutzrechtlicher Sicht ist u.a. zu beachten, dass durch die Errichtung und den Betrieb eines unterirdischen Pumpspeicherwerks am Modellstandort Pöhla eine Beeinflussung des weiträumigen Vogelschutzgebiets „Fichtelberggebiet“ grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann. Daher könnte sich die Notwendigkeit einer Verträglichkeitsprüfung nach § 34 BNatSchG ergeben.

Für einzelne Vorhabenbestandteile könnte sich die Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung nach UVPG ergeben. Dies gilt zunächst für die Wasserkraftanlage, für die Speicherbecken, für eine etwaige Grundwasserentnahme sowie für die Wasserableitung. Die Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung muss im Rahmen einer allgemeinen bzw. standortbezogenen Vorprüfung des Einzelfalls beurteilt werden und erscheint gerade im Hinblick auf etwaige Wasserbelastungen naheliegend. Auch eine Pflicht zur Vornahme einer Umweltverträglichkeitsprüfung für eine etwaige Freileitungsanbin-

dung lässt sich bei einer Länge von 15 bis 20 km, jedenfalls wenn eine Verstärkung der bestehenden Freileitung nicht ausreicht, nicht ohne weiteres ausschließen. In Betracht kommt die Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsprüfung zudem für eine etwaige Aufhaldung von Gesteinsaushub. Sofern belastetes Material aufgehaldet werden soll, wäre die Notwendigkeit der Durchführung einer UVP als wahrscheinlich einzuschätzen.

Schließlich kann sich bei Bejahung der Raumbedeutsamkeit und der überörtlichen Bedeutung die Notwendigkeit eines vorgelagerten Raumordnungsverfahrens ergeben. Dies ist insbesondere für die Errichtung einer Hochspannungsfreileitung über eine Länge von ca. 15 bis 20 Kilometern sowie für eine etwaige Lagerung oder Ablagerung von Gesteinsaushub nicht von vornherein ausgeschlossen, lässt sich aber noch nicht abschließend beurteilen.

### **3. Eigentumsrechtliche Aspekte**

#### **3.1 Einleitung**

Neben den dargestellten genehmigungsrechtlichen Anforderungen ist hinsichtlich des Baus und des Betriebes eines untertägigen Pumpspeicherwerks in der Regel auch die privatrechtliche Zulässigkeit erforderlich. Problematisch kann dies sein, sofern der Vorhabenträger nicht auch Grundstückseigentümer der oberirdisch beanspruchten bzw. untertägig genutzten Grundstücke ist. Zudem kann ggf. bestehendes fremdes Bergwerkseigentum bzw. eine erteilte Bewilligung zur Gewinnung von Bodenschätzen der Realisierung eines Projektes entgegenstehen. In diesen Fällen sind ggf. Abwehransprüche des jeweiligen Eigentümers gem. § 1004 Abs. 1 BGB denkbar. In diesen Fällen ist eine gütliche Einigung mit dem Eigentümer oder notfalls eine Enteignung erforderlich.

#### **3.2 Abwehransprüche des Bergwerkseigentümers bzw. Inhabers einer bergrechtlichen Bewilligung**

##### **3.2.1 Bestehende Rechte**

Hindernisse können sich zunächst ergeben, sofern an den stillgelegten Bergwerken noch Bergwerkseigentum bzw. eine bergrechtliche Bewilligung besteht.

Begrifflich handelt es sich bei Bergwerkseigentum um den Inbegriff einzelner, in den §§ 8, 9 BBergG näher geregelten Rechte, die dem gemeinsamen Zweck der bergmännischen Produktion dienen.<sup>169</sup> Wesentlicher Inhalt ist das Recht zur Aufsuchung und Gewinnung von Bodenschätzen. Als wesentliche Bestandteile des Bergwerkseigentums, die gemäß § 93 BGB dessen rechtliches Schicksal teilen, werden beispielsweise der Schacht<sup>170</sup> sowie alle Grubenbaue innerhalb des Bergwerksfeldes<sup>171</sup> angesehen. Auf das Bergwerkseigentum sind die für Grundstücke geltenden Vorschriften des BGB, insbesondere Abwehransprüche nach § 1004 BGB, entsprechend anzuwenden, soweit nichts anderes bestimmt ist, vgl. § 9 Abs. 1 S. 1 Halbs. 2 BBergG.

---

<sup>169</sup> Ring, NotBZ 2006, 37 (38); BGHZ 17, 223 (228).

<sup>170</sup> RG ZfB 80/81, 145 (147); OVG Münster, ZfB 114, 429 (436).

<sup>171</sup> Boldt/Weller, BBergG, Hauptband, § 9 Rn. 10.

In den vorliegend in Betracht kommenden Fällen handelt es sich nach Auskunft der Bergbehörden in der Regel um sog. altes Bergwerkseigentum i.S.d. §§ 149, 151 BBergG. Dieses weist die Besonderheit auf, dass es aufgrund § 151 Abs. 1 BBergG, abweichend von § 16 Abs. 5 BBergG, nicht befristet verliehen ist. Zudem ist auch ein Widerruf nach § 18 Abs. 4 BBergG gem. § 151 Abs. 1 BBergG ausgeschlossen. Ein Rückgriff auf allgemeine Widerrufsmöglichkeiten des § 49 Abs. 2 S. 1 VwVfG erscheint ebenfalls ausgeschlossen.

Außer dem Bergwerkseigentum kann auch eine bergrechtliche Bewilligung gemäß § 8 BBergG Abwehransprüche begründen. Die bergrechtliche Bewilligung gewährt u.a. das ausschließliche Recht, im Bewilligungsfeld die in der Bewilligung bezeichneten Bodenschätze aufzusuchen, zu gewinnen und andere Bodenschätze mitzugewinnen. Auf das Recht aus der Bewilligung sind wiederum die für Ansprüche aus dem Eigentum geltenden Vorschriften des bürgerlichen Rechts entsprechend anzuwenden, wenn nichts anderes bestimmt ist, vgl. § 8 Abs. 2 BBergG. Damit ist insbesondere der Abwehranspruch nach § 1004 BGB gegeben.<sup>172</sup> Auch insoweit können alte Rechte nach §§ 149, 153 BBergG fortbestehen.

Demnach können Bergwerkseigentum bzw. bergrechtliche Bewilligungen einer Nachnutzung stillgelegter Bergwerke entgegen stehen. Sofern solche Berechtigungen vorliegen und nicht erloschen sind, muss eine privatrechtliche Einigung zur Realisierung der Nachnutzung gesucht werden. In Betracht kommt die Einräumung eines Nutzungsrechts oder die Übertragung des Bergwerkseigentums bzw. der Bewilligung.

Eine Veräußerung von Bergwerkseigentum ist gemäß § 23 BBergG grundsätzlich möglich. Zu beachten ist, dass die Privatautonomie durch einen staatlichen Genehmigungsvorbehalt eingeschränkt ist. Dieser greift allerdings nur bei bergbaubezogenen öffentlichen Interessen ein, sofern also durch die Veräußerung eine sinnvolle und planmäßige Gewinnung von Bodenschätzen gefährdet werden würde. Bei dem in der vorliegenden Studie untersuchten alten Bergwerkseigentum sind daher in der Regel keine Versagungsgründe zu erwarten. Zulässig ist auch die Übertragung einer Bewilligung. Wiederum ist die Zustimmung der zuständigen Behörde erforderlich. Diese darf allerdings nur in den in § 22 Abs. 1 BBergG abschließend aufgezählten Fällen versagt werden (gebundene Entscheidung).

---

<sup>172</sup> Vgl. nur Boldt/Weller, BBergG, § 8 Rn. 4.

Zu betonen ist, dass durch den Erwerb des Bergwerkseigentums oder der Bewilligung nur entgegenstehende Rechte des Bergwerkseigentümers oder Inhabers der Bewilligung, nicht aber des Grundeigentümers überwunden werden können. In der Folge sind daher die rechtlichen Verhältnisse zwischen Betreiber eines untertägigen Pumpspeicherwerks und Oberflächeneigentümer zu betrachten.

### 3.2.2 Neuerwerb von Bergbauberechtigungen

Zu berücksichtigen ist auch die Möglichkeit, dass eine Bewilligung bzw. Bergwerkseigentum für ein Feld neu erteilt wird, das sich auf das Gebiet des untertägigen Pumpspeicherwerkes erstreckt. Diese Situation dürfte allerdings nur in Ausnahmefällen auftreten, da regelmäßig davon auszugehen ist, dass abbauwürdige Bodenschätze im Bereich des Pumpspeicherwerkes nicht vorhanden sind.

Sollte dies ausnahmsweise dennoch der Fall sein, so wird der Betreiber eines untertägigen Pumpspeicherwerkes regelmäßig keine Möglichkeit haben, selbst eine solche Berechtigung zu erwerben, da er an der Gewinnung etwa vorhandener Bodenschätze nicht interessiert ist. Die Situation unterscheidet sich insoweit von der Lage der Betreiber von Kavernenspeichern, die teilweise eine Bergbauberechtigung (etwa für Salz) beantragen, um Konflikten mit anderen Abbauberechtigten vorzubeugen.<sup>173</sup> Die Erteilung einer Bewilligung bzw. von Bergwerkseigentum ist von der Bergbehörde jedoch zu versagen, wenn überwiegende öffentliche Interessen die Gewinnung im gesamten zuzuteilenden Feld ausschließen, vgl. § 12 Abs. 1 S. 1 i.V.m. § 11 Nr. 10 BBergG. Dies dürfte bei Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerkes regelmäßig zu bejahen sein.

## 3.3 Abwehransprüche des Grundstückseigentümers

### 3.3.1 Oberflächennutzung

Sollen fremde Grundstücke an der Oberfläche zur Realisierung eines untertägigen Pumpspeicherwerkes genutzt werden, beispielsweise zum Abteufen bzw. Nachnutzen eines Schachtes oder durch Bau oder Nutzung von entsprechend notwendigen Betriebsgebäu-

---

<sup>173</sup> Vgl. dazu Sustmann / Robles y Zepf, RdE 2011, 52 (54).

den, stehen dem Grundeigentümer in jedem Fall Abwehransprüche, insbesondere nach § 1004 BGB, zu.

Insofern wären einerseits privatrechtliche Einigungen zwischen dem Betreiber und dem Oberflächeneigentümer denkbar, mittels derer der Betreiber Eigentum an den betroffenen Grundstücken erwirbt. Andererseits könnten Nutzungsrechte erworben und durch entsprechende dingliche Belastungen gesichert werden.

Falls dies nicht möglich ist, etwa weil der derzeitige Eigentümer sich weigert, müssen als letztes Mittel enteignungsrechtliche Möglichkeiten in Betracht gezogen werden. Hierauf wird unter 3.4 eingegangen.

### **3.3.2 Untertägige Nutzung fremder Grundstücke**

Auch bei bloß untertägiger Nutzung eines Grundstückes können sich zivilrechtliche Einschränkungen ergeben.

Gemäß § 905 S. 1 BGB erstreckt sich die Nutzungsbefugnis des Grundeigentümers u.a. auch auf den Erdkörper unterhalb der Oberfläche einschließlich der unterirdischen Hohlräume<sup>174</sup>, was insbesondere für die Untergrundspeicherung von Bedeutung sein und zu Konflikten führen kann. Eine gemäß § 905 S. 1 BGB verbotene Einwirkung verpflichtet zum Schadensersatz gemäß § 823 BGB. Der BGH hat zudem die Möglichkeit eines nachbarrechtlichen Ausgleichsanspruchs entsprechend § 906 Abs. 2 BGB anerkannt.<sup>175</sup>

Einschränkungen des Verbotungsrechts des Grundeigentümers ergeben sich aus § 905 S. 2 BGB. Danach kann der Oberflächeneigentümer Einwirkungen nicht verbieten, die in solcher Tiefe vorgenommen werden, dass er an der Ausschließung kein Interesse hat. Das hiernach bestehende Ausschließungsinteresse des Grundeigentümers wird von Rechtsprechung und Literatur weit ausgelegt und stellt den gesetzlich gewollten Regelfall dar. Für dessen Bewertung sind dabei die konkreten Verhältnisse des Einzelfalles maßgebend.<sup>176</sup> Erfasst wird jedes grundstücksbezogene schutzwürdige Interesse. Ein solches ist insbesondere gegeben, wenn an der Oberfläche mit Beeinträchtigungen zu rechnen ist bzw. wenn der Grundeigentümer ein eigenes (auch künftiges) Nutzungsinteresse geltend

---

<sup>174</sup> BGH ZfB 122, 425 (428); MK/Säcker, § 905 Rn. 5; Jauernig, BGB, § 905 Rn. 1.

<sup>175</sup> BGHZ 110, 17 ff.

<sup>176</sup> BGH ZfB 122, 425 (428).

macht. Dabei kann es unerheblich sein, dass für eine Nutzung in Betracht kommende Hohlräume, auch wenn sie in einer beträchtlichen Tiefe gelegen sind<sup>177</sup>, dem Grundstückseigentümer nicht durch eigene Schächte zugänglich sind. Zugangsmöglichkeiten könnte der Grundeigentümer nach Ansicht des BGH erforderlichenfalls noch errichten.<sup>178</sup> Diese bezüglich der Tiefennutzung noch immer aktuelle Rechtsprechung des BGH zeigt, dass das Ausschließungsinteresse des Oberflächeneigentümers im Einzelfall weit reichen kann.

Aus prozessualer Sicht ist anzumerken, dass der Vorhabenträger die Darlegungs- und Beweislast dafür trägt, dass der Grundeigentümer ausnahmsweise kein Verbotungsrecht innehat. Bei Einwirkungen in der Tiefe ist dabei ein strenger Maßstab an den Nachweis anzulegen.<sup>179</sup>

Aufgrund der potenziellen Weite des Ausschließungsinteresses muss damit gerechnet werden, dass im Einzelfall ein Ausschließungsinteresse des Oberflächeneigentümers gegen ein untertägiges Projekt besteht. Die Rechtslage ist durch erhebliche Rechtsunsicherheit gekennzeichnet. Die Bezirksregierung Arnsberg hat daher mit Blick auf Untergrundspeicher nach § 126 BBergG vorgeschlagen, speicherfähige geologische Horizonte zu bergfreien Bodenschätzen zu erklären. Dies hätte zur Folge, dass diese Horizonte dem bergrechtlichen Konzessionssystem unterfallen und dem Grundeigentum entzogen würden.<sup>180</sup> Eine derartige Regelung könnte auch für Bereiche erwogen werden, in denen untertägige Pumpspeicherwerke errichtet werden. Dies würde jedoch eine entsprechende Änderung des BBergG voraussetzen.

Insgesamt kann es daher im Einzelfall notwendig sein, eine privatrechtliche Einigung mit dem Grundeigentümer zu erzielen. Sollten Einigungsversuche scheitern, wäre nur noch an die Durchführung eines Enteignungsverfahrens zu denken, etwa mit dem Ziel einer Einschränkung der Nutzungsmöglichkeit des Grundstücks insbesondere unterhalb der Oberfläche, um sich widersprechende untertägige Nutzungskonkurrenzen zu verhindern.

---

<sup>177</sup> In diesem konkreten Fall befanden sich die zur Nutzung in Betracht kommenden Hohlräume in einer Tiefe von etwa 450 bis 600 Metern.

<sup>178</sup> BGH ZfB 122, 425 (428).

<sup>179</sup> BGH ZfB 122, 425 (428).

<sup>180</sup> Bezirksregierung Arnsberg, Vorschläge zur Änderung des Bergrechts 2011, Stand 18.02.2011, unter III.8., [http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/e/erdgas\\_rechtlicher\\_rahmen/vorschlag\\_bergrecht.pdf](http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/e/erdgas_rechtlicher_rahmen/vorschlag_bergrecht.pdf) (zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011).



### **3.4 Enteignung fremder Grundstücke**

#### **3.4.1 Grundlagen**

Von Enteignung spricht man bei einer vollständigen oder teilweisen Entziehung konkreter subjektiver Eigentumspositionen. Eine Teilenteignung liegt bei Entzug einer Grundstücksteilfläche sowie bei bloßer Beschränkung einer dem Grundeigentümer zustehenden Gesamtrechtsposition vor, indem ihm rechtlich gesicherte Nutzungsmöglichkeiten seines Eigentums genommen oder eingeschränkt werden, beispielsweise durch Belastung mit Dienstbarkeiten. Im Rahmen eines untertägigen Pumpspeicherprojekts sind sowohl hinsichtlich der Oberflächennutzung als auch der „bloßen“ Tiefennutzung eines Grundstücks umfassende oder auch nur teilweise Enteignungen denkbar. Ggf. käme auch eine Enteignung alten Bergwerkseigentums in Betracht.

Eine Enteignung ist nur zum Wohle der Allgemeinheit zulässig, Art. 14 Abs. 3 S. 1 GG. Zu beachten ist dabei, dass das Grundgesetz keine abschließende Liste öffentlicher Zwecke enthält und keinen materiellen Begriff des Allgemeinwohls vorgibt. Dies ist vielmehr Aufgabe des Gesetzgebers. Verfassungsrechtlich anerkannt und für ein hier betrachtetes Vorhaben relevant ist dies bei Zwecken der öffentlichen Energieversorgung.<sup>181</sup> Bei Vorliegen dieser Voraussetzung ist auch eine Enteignung zugunsten eines privatrechtlich organisierten Unternehmens möglich. Der Gemeinwohlbezug wird durch den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit ergänzt. Insgesamt erscheint hinsichtlich eines untertägigen Pumpspeicherwerks die Möglichkeit einer Enteignung als letztes Mittel grundsätzlich möglich.

Für Enteignungen ist gemäß Art. 14 Abs. 3 GG zudem eine Enteignungsentschädigung zu leisten. Dies gilt insbesondere auch für den Fall, dass dem Eigentümer nur eine dinglich gesicherte Eigentumsbeschränkung in Form einer Dienstbarkeit auferlegt wird.<sup>182</sup>

---

<sup>181</sup> BVerfGE 66, 248 (258); BVerfG WM 2009, 1761 (1762).

<sup>182</sup> Krohn/Löwisch, S. 204; BGHZ 83, 61 (64).

### **3.4.2 Enteignungsrechtliche Vorwirkung bei Planfeststellung und Plangenehmigung**

#### **3.4.2.1 Grundsatz**

Enteignungsverfahren können langwierig und mit rechtlichen Unsicherheiten behaftet sein. Daher kommt der Möglichkeit, im Rahmen der Planfeststellung auch über die sogenannte enteignungsrechtliche Vorwirkung zu entscheiden, besondere Bedeutung zu.

Aufgrund der schon erörterten Gestaltungs- und Duldungswirkung eines Planfeststellungsbeschlusses wäre zu beachten, dass auf diese Weise zwar alle öffentlich-rechtlichen Beziehungen zwischen dem Träger des Vorhabens und den Planbetroffenen rechtsgestaltend geregelt werden, § 75 Abs. 1 S. 2 VwVfG. Dadurch werden allerdings nicht Rechte auf die Benutzung fremder Grundstücke übertragen. Entgegenstehende private Rechte müssen entweder gütlich oder im Rahmen eines Enteignungsverfahrens beseitigt werden.<sup>183</sup> Ein Planfeststellungsbeschluss kann dabei aufgrund des gravierenden Grundrechtseingriffes bei einer Enteignung eine enteignungsrechtliche Vorwirkung nur dann entfalten, wenn eine ausdrückliche fachgesetzliche Anordnung der enteignungsrechtlichen Vorwirkung existiert. Erst recht gilt dies für eine sog. Plangenehmigung, vgl. auch § 74 Abs. 6 S. 2 VwVfG.

#### **3.4.2.2 Planfeststellung und Plangenehmigung nach § 68 WHG**

Für die wasserrechtliche Planfeststellung im Falle eines Gewässerausbaus nach §§ 67, 68 WHG wird die enteignungsrechtliche Vorwirkung in § 71 S. 1 WHG geregelt. Danach kann, wenn der Gewässerausbau dem Gemeinwohl dient, bei der Feststellung des Plans bestimmt werden, dass für seine Durchführung die Enteignung zulässig ist. Hinsichtlich einer ggf. in Betracht kommenden bloßen wasserrechtlichen Plangenehmigung gilt nach § 71 S. 2 WHG Entsprechendes, sofern Rechte anderer nur unwesentlich beeinträchtigt werden.

Wie oben dargestellt, kann die Errichtung der Speicherbecken eines untertägigen Pumpspeicherwerkes aber nicht als Gewässerausbau eingeordnet werden. Vielmehr kann ein Gewässerausbau lediglich in der Einrichtung einer Grundwasserhaltung gesehen werden, wobei auch dies bislang nicht gesichert ist. Für die im Rahmen eines untertägigen Pump-

speicherwerkes möglichen Problemlagen erscheint eine enteignungsrechtliche Vorwirkung nach § 71 WHG zur Durchführung der Wasserhaltung letztlich wenig hilfreich.

### 3.4.2.3 Planfeststellung und Plangenehmigung nach § 20 UVP

Wesentlich größere Bedeutung hat im vorliegenden Zusammenhang die Möglichkeit einer enteignungsrechtlichen Vorwirkung im Falle des § 20 UVP, der nach den obigen Darstellungen auf Errichtung und Betrieb künstlicher Wasserspeicher Anwendung findet. Allerdings ist die Rechtslage umstritten. Nach verbreiteter Auffassung setzt die Anordnung der enteignungsrechtlichen Vorwirkung eine spezialgesetzliche Regelung voraus, wie etwa nach § 19 Abs. 2 FStrG, § 44 Abs. 2 WaStrG, § 28 Abs. 2 LuftVG, § 22 Abs. 2 AEG, § 71 WHG oder § 45 Abs. 2 EnWG.<sup>184</sup> Die §§ 20 ff. UVP enthalten keine entsprechende Vorschrift. Teilweise wird eine enteignungsrechtliche Vorwirkung daher explizit verneint.<sup>185</sup> Einige Stellungnahmen bejahen allerdings dennoch die enteignungsrechtliche Vorwirkung, u.a. mit Hinweis auf die Gestaltungs- und Duldungswirkung einer Planfeststellung.<sup>186</sup> Möglich bleibt jedenfalls die landesrechtliche Anordnung der enteignungsrechtlichen Vorwirkung, wie sie etwa § 23 Abs. 2 EEG NW oder Art. 28 BayEntG vorsehen.<sup>187</sup>

Angesichts der erheblichen Bedeutung für den Eigentumsschutz erscheint eine enteignungsrechtliche Vorwirkung im Falle des § 20 UVP nur zulässig, soweit eine entsprechende landesrechtliche Regelung besteht. Andernfalls dürfte die enteignungsrechtliche Vorwirkung mangels fachgesetzlicher Anordnung ausgeschlossen sein. In diesen Fällen müssten etwa erforderliche Enteignungsverfahren ohne Bindung der Enteignungsbehörden an den Planfeststellungsbeschluss bzw. die Plangenehmigung nach § 20 UVP durchgeführt werden.

---

<sup>183</sup> Stelkens et al., VwVfG, § 75 Rn. 26; BVerfGE 45, 297 (319); BGH NVwZ 2004, 377 (378f.).

<sup>184</sup> Vgl. etwa Stelkens et al., VwVfG, § 75 Rn. 27; Kopp/Ramsauer, VwVfG, § 75 Rn. 12a; Hagmann in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, § 22 UVP Rn. 30; Jarass, DVBl 2006, 1329 (1329, 1331).

<sup>185</sup> Peters/Balla, UVP, § 20 Rn. 14; Schoen, S. 99ff. (105).

<sup>186</sup> Knack/Hennecke, VwVfG, § 75 Rn. 18; vgl. auch Hoppe, UVP, § 22 Rn. 38.

<sup>187</sup> Hagmann in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, § 22 UVP Rn. 30.

### **3.5 Modellbergwerk Grund**

Eigentumsrechtliche Problemstellungen können im Rahmen eines untertägigen Pumpspeicherwerks einen nicht unerheblichen Stellenwert einnehmen. Bezieht man die dargestellten eigentumsrechtlichen Konfliktsituationen auf das Modellbergwerk Grund, so sind insbesondere hinsichtlich der Schachtanlage Wiemannsbucht eigentumsrechtliche Problemlagen denkbar, da sich zugehöriges Grundstück in privater Hand befindet. Entgegenstehendes Bergwerkseigentum ist nicht vorhanden, sondern vielmehr erloschen. Sonstige Bewilligungen für den Standort Grund sich nicht ersichtlich.

Eine enteignungsrechtliche Vorwirkung des § 20 UVPG wird gemäß § 28 Niedersächsisches Enteignungsgesetz (NEG) teilweise bejaht. Danach ist der unanfechtbar festgestellte Plan für das weitere Verfahren nach diesem Gesetz bindend; gegen Maßnahmen zur Durchführung des Plans können keine Einwendungen geltend gemacht werden, über die durch die Planfeststellung bereits entschieden worden ist oder über die bei rechtzeitiger Geltendmachung hätte entschieden werden können. Diese Vorschrift wird nicht nur auf Planfeststellungsverfahren nach § 27 NEG bezogen, sondern auch auf Verfahren nach § 20 UVPG.<sup>188</sup>

### **3.6 Modellbergwerk Pöhla**

Hinsichtlich der eigentumsrechtlichen Lage beim Modellbergwerk Pöhla ist zunächst zu erwähnen, dass an dem Bergwerk Pöhla Bergwerkseigentum seitens der Wismut GmbH besteht. Sofern eine Einigung über eine Nachnutzung von Teilen der Grube Pöhla als unterirdisches Pumpspeicherwerk erzielt werden kann, wäre eine Veräußerung des Bergwerkseigentums gemäß § 23 BBergG grundsätzlich möglich. Eine Versagung der Genehmigung durch die zuständige Behörde kommt gemäß § 23 Abs. 1 BBergG nur in Betracht, wenn eine sinnvolle und planmäßige Gewinnung von Bodenschätzen gefährdet werden würde.<sup>189</sup> Vorliegend wird zu den prognostischen Lagerstätten ein ausreichender Abstand von ca. 100 m eingehalten, der eine zukünftige Bodenschatzgewinnung nach derzeitigem Stand nicht einschränkt (vgl. Teilbericht Bergbau). Daher wäre insoweit eine Versagung der Veräußerungsgenehmigung seitens der zuständigen Behörde nicht zu erwarten.

---

<sup>188</sup> So Hagmann in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, § 22 UVPG Rn. 30.

<sup>189</sup> Boldt/Weller, BBergG, § 23 Rn. 4.

Eine Besonderheit des Modellbergwerks Pöhla ist die Existenz des Besucherbergwerks Zinnkammern e.V. Durch dieses wird ein Teil der alten Grubenhohlräume, unter anderem die ersten 3km des Pöhla-Stollens sowie die Lagerstätte „Hämmerlein“, genutzt (vgl. Teilbericht Umweltauswirkungen). Konflikte mit einem geplanten unterirdischen Pumpspeicherwerk könnten sich ergeben, sofern der Pöhla-Stollen zum teilweisen Abtransport von Gesteinsaushub genutzt werden sollte oder sich sonstige Überschneidungen mit dem Betrieb des Besucherbergwerks ergeben sollten.

Hierbei wären zunächst die zivilrechtlichen Absprachen zur Nutzungsüberlassung zwischen der Wismut GmbH als Eigentümer und dem Verein zu betrachten. Über Inhalte und etwa erforderliche Anpassungen liegen bislang jedoch keine Informationen vor. Wie bereits ausgeführt, müsste ggf. auch der Betriebsplan für das Besucherbergwerk angepasst werden, um eine Nutzung für Zwecke eines untertägigen Pumpspeicherwerks zuzulassen (oben 2.5.2.6).

Eine enteignungsrechtliche Vorwirkung des § 20 UVPG ist mangels entsprechender Regelung im Sächsischen Enteignungs- und Entschädigungsgesetz (SächsEntEG) für das Bundesland Sachsen nicht vorgesehen.

## **4. Energiewirtschaftsrecht**

Der Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks erfordert eine Verbindung der Anlage zum Energieversorgungsnetz und dessen Nutzung. Hieraus ergeben sich energiewirtschaftsrechtliche Fragestellungen hinsichtlich Netzanschluss, Netzzugang sowie Bemessung der Netzentgelte.

### **4.1 Netzanschluss**

#### **4.1.1 Anspruch auf Netzanschluss**

##### **4.1.1.1 Netzanschluss gemäß § 17 EnWG**

§ 17 Abs. 1 EnWG regelt den grundsätzlichen Anspruch auf Netzanschluss, also auf Herstellung der physischen Verbindung zwischen Energieversorgungsnetz und anzuschließender Anlage. Der Anspruch nach § 17 Abs. 1 EnWG betrifft gemäß ausdrücklicher gesetzlicher Regelung insbesondere Erzeugungs- und Speicheranlagen. Damit werden jedenfalls auch untertägige Pumpspeicherwerke erfasst. Die technischen und wirtschaftlichen Anschlussbedingungen müssen demnach angemessen, diskriminierungsfrei, transparent und nicht ungünstiger als innerhalb des eigenen Unternehmens oder gegenüber verbundenen oder assoziierten Unternehmen sein.

Eine Ausnahme vom Netzanschlusserfordernis regelt § 17 Abs. 2 EnWG, wenn der Netzbetreiber nachweist, dass ihm die Gewährung des Netzanschlusses aus betriebsbedingten bzw. sonstigen wirtschaftlichen oder technischen Gründen unter Berücksichtigung der Ziele des § 1 EnWG nicht möglich oder nicht zumutbar ist. Diese Ausnahmenvorschrift ist eng auszulegen. In Betracht kommen insbesondere Hinderungsgründe aufgrund mangelnder Ressourcen des Netzbetreibers (insbesondere Personal) oder aufgrund mangelnder technischer Eignung des Netzes (insbesondere Kurzschlussleistung, Leitungsquerschnitt). Angesichts der zu erwartenden Bauzeit für ein untertägiges Pumpspeicherwerk dürften sich hieraus für den Regelfall aber keine Schwierigkeiten ergeben.

Insbesondere ist der Netzbetreiber gemäß §§ 11 ff. EnWG verpflichtet, ein sicheres, zuverlässiges und leistungsfähiges Energieversorgungsnetz (u.a.) bedarfsgerecht zu optimieren, zu verstärken und auszubauen, soweit es wirtschaftlich zumutbar ist. Hierzu muss eine Abwägung der beteiligten Interessen erfolgen, um zu ermitteln, ob unter Berücksichtigung der Ziele des § 1 EnWG und insbesondere der Kosten für den Netzausbau im Einzel-

fall die Interessen des Netzbetreibers Vorrang vor denen des Anschlusspetenten haben. Angesichts der besonderen Bedeutung, die der Schaffung zusätzlicher Speicherkapazitäten im Hinblick auf den erforderlichen Aus- und Umbau der Elektrizitätsversorgungsnetze zukommt, wird der Netzbetreiber jedenfalls in aller Regel die erforderlichen Maßnahmen zur Optimierung, Verstärkung oder Ausbau des Netzes vorzunehmen haben, um den Anschluss neuer Pumpspeicherwerke zu gewährleisten. Entsprechend den Grundgedanken, die für den zeitlichen Ablauf beim Anschluss neuer Erzeugungsanlagen entwickelt wurden (vgl. §§ 3 ff. KraftNAV, Positionspapier der BNetzA zum Anschluss von Offshore-Windenergieanlagen<sup>190</sup>), bestehen die entsprechenden Verpflichtungen des Netzbetreibers jedenfalls dann, wenn konkrete Schritte zum Bau des untertägigen Pumpspeicherwerks eingeleitet worden sind. Hierbei ist zu vermuten, dass deren Bauzeiten nicht kürzer sein werden als der Zeitbedarf für einen notwendigen Netzausbau im Hoch- und/oder Höchstspannungsnetz.

Keinen Verweigerungsgrund für den Netzanschluss bieten mögliche Kapazitätsengpässe im Netz. Zwar können nach dem Wortlaut sowohl Netzanschluss als auch Netzzugang bei einem Kapazitätsmangel verweigert werden. Gemeint ist nach der systematischen Stellung jedoch in § 17 Abs. 2 EnWG die Anschlusskapazität und in § 20 Abs. 2 EnWG die Netzkapazität. Kapazitätsengpässe im Netz stehen daher einem Netzanschluss grundsätzlich nicht entgegen und sind kein zulässiger Verweigerungsgrund.

#### 4.1.1.2 Netzanschluss gemäß § 5 EEG

Über § 17 EnWG hinaus gewährt § 5 Abs. 1 S. 1 EEG für Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien oder Grubengas einen weitergehender Anspruch auf vorrangigen Netzanschluss. Die Anwendungsvoraussetzungen des § 5 Abs. 1 S. 1 EEG dürften für untertägige Pumpspeicherwerke in der Regel aber nicht gegeben sein.

Anlagen i.S.d. § 5 Abs. 1 S. 1 EEG sind gemäß § 3 Nr. 1 S. 1 EEG zum einen Einrichtungen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien oder aus Grubengas, wobei der Be-

---

<sup>190</sup> Positionspapier der Bundesnetzagentur zur Anbindung von Offshore-Windparks; abrufbar unter: [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetGas/Sonderthemen/AnbindungOffshoreWindparks/AnbindungOffshoreWindparks\\_node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetGas/Sonderthemen/AnbindungOffshoreWindparks/AnbindungOffshoreWindparks_node.html) (zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011).



griff der „Erneuerbaren Energien“ in § 3 Nr. 3 EEG definiert ist. Pumpspeicherwerke und damit auch eine entsprechende untertägige Anlage sind jedenfalls in aller Regel nicht als Anlagen in diesem Sinne anzusehen. Zwar ist als eine der enumerativ in § 3 Nr. 3 EEG aufgelisteten Erneuerbaren Energien die Wasserkraft ausdrücklich genannt, doch wird hierunter gemäß der Gesetzesbegründung zum EEG nur die „regenerative“ Wasserkraftnutzung verstanden.<sup>191</sup> Sofern der zum Pumpen verwendete Strom (teilweise) konventionell erzeugt wurde, ist nach allgemeiner Literaturauffassung ein Anwendungsfall des § 3 Nr. 3 EEG ausgeschlossen, da in diesem Fall ggf. auch konventionell erzeugter Strom zum Hochpumpen des Wassers eingesetzt wurde.<sup>192</sup> Lediglich bei ausschließlicher Verwendung von Strom aus Erneuerbaren Energien, was für untertägige Pumpspeicherwerke in aller Regel nicht Betracht kommen wird, dürfte die Zwischenspeicherung entsprechend dem Gedanken des § 16 Abs. 3 EEG dem Anschlussanspruch nach § 5 Abs. 1 EEG nicht entgegen stehen.<sup>193</sup>

Anlagen i.S.d. § 5 Abs. 1 S. 1 EEG sind gemäß der Fiktion des § 3 Nr. 1 S. 2 EEG zum anderen auch solche Einrichtungen, die zwischengespeicherte Energie, die ausschließlich aus Erneuerbaren Energien oder aus Grubengas stammt, aufnehmen und in elektrische Energie umwandeln. Unabhängig von der Frage, ob hiermit auch Pumpspeicherwerke erfasst werden können<sup>194</sup>, beschränkt sich die Anwendbarkeit jedenfalls ausdrücklich auf die ausschließliche Zwischenspeicherung von Energie aus Erneuerbaren Energien oder Grubengas. Sie geht insoweit nicht über den bereits vorstehend beschriebenen Anwendungsbereich nach § 3 Nr. 1 S. 1 EEG hinaus.

Im Ergebnis findet § 5 Abs. 1 S. 1 EEG in aller Regel keine Anwendung, da der für den Pumpvorgang verwendete Strom aus dem Netz der allgemeinen Versorgung entnommen wird und nicht ausschließlich regenerativ erzeugt worden ist.

Sollte es sich ausnahmsweise um ausschließlich regenerativ erzeugten Strom handeln, so würde die Rechtsposition des Anschlusspetenten gestärkt. § 5 Abs. 1 S. 1 EEG begründet eine Pflicht zum unverzüglichen vorrangigen Netzanschluss. Zudem stellt § 5 Abs. 4 EEG nochmals klar, dass die Verpflichtung zum Netzanschluss auch dann besteht, wenn die

---

<sup>191</sup> BT-Drs. 16/8148, S. 39.

<sup>192</sup> Frenz/Müggenborg, EEG, § 3 Rn. 21; Altrock et al., EEG, § 3 Rn. 10; Salje, EEG, § 3 Rn. 8.

<sup>193</sup> So im Ergebnis auch Salje, EEG, § 3 Rn. 9; Frenz/Müggenborg, EEG, § 3 Rn. 21; wohl auch Reshöft, EEG, § 16 Rn. 23.

Abnahme des Stroms erst durch die Optimierung, Verstärkung oder den Ausbau des Netze möglich ist. Hierbei kehrt § 9 Abs. 3 EEG das Regel-Ausnahme-Verhältnis des § 11 Abs. 1 S. 1 EnWG dahingehend um, dass der Netzbetreiber die wirtschaftliche Unzumutbarkeit dieser Maßnahmen nachweisen muss. Zugleich wird die Netzausbaupflicht – anders als im Falle der §§ 11 ff. EnWG – auf den Anschluss der konkreten Anlage des Anschlusspekten bezogen. Schließlich enthält § 5 EEG besondere Vorschriften zur Bestimmung des Netzverknüpfungspunktes.

#### 4.1.1.3 Netzanschluss gemäß KraftNAV

Weitere Sonderregelungen zum Netzanschlusserpruch enthält die Kraftwerks-Netzanschlussverordnung (KraftNAV). Sie betrifft gemäß § 1 Abs. 1 KraftNAV den Netzanschluss von Anlagen zur Erzeugung von elektrischer Energie mit einer Nennleistung ab 100 MW an Elektrizitätsversorgungsnetze mit einer Spannung von mindestens 110 kV. Diese Vorgaben werden von untertägigen Pumpspeicherwerken häufig erfüllt werden.

Genauerer Prüfung bedarf allerdings, ob es sich bei solchen Anlagen angesichts ihrer (zusätzlichen) Speicherfunktion um Erzeugungsanlagen im Sinne der KraftNAV handelt. Die oben dargestellte Auffassung zu § 5 Abs. 1 S. 1 EEG, der den Netzanschluss von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien oder Grubengas betrifft, spricht jedoch auch für die Einbeziehung von Pumpspeicherwerken in den Begriff der Erzeugungsanlagen nach § 1 Abs. 1 KraftNAV. Das Ziel der Verordnung, einen diskriminierungsfreien und kosteneffizienten Anschluss neuer Kraftwerke an das Netz im Interesse der Versorgungssicherheit zu ermöglichen<sup>194</sup>, unterstützt ebenfalls eine Einbeziehung von Pumpspeicherwerken. Diese leisten einen wichtigen Beitrag zur Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit des Energieversorgungssystems, und auch hinsichtlich dieser Kraftwerke besteht ein besonderes Interesse am Bau neuer Anlagen. Schließlich weisen auch die Ausführungen des BGH zur Einordnung von Pumpspeicherkraftwerken als netzentgeltspflichtige Letztverbraucher von Elektrizität auf eine getrennte Betrachtung des Stromverbrauchs für den Pumpbetrieb einerseits und der Stromerzeugung durch den Generatorbetrieb ande-

---

<sup>194</sup> Die Gesetzesbegründung sprach beispielhaft Druckluftspeicherkraftwerke sowie die Speicherung der Energie als Wasserstoff oder als chemische Energie an, vgl. BT-Drs. 16/8148 S. 38.

<sup>195</sup> BR-Drs. 283/07, S. 14.

rerseits.<sup>196</sup> Im Ergebnis ist daher davon auszugehen, dass auch ein untertägiges Pumpspeicherwerk eine Erzeugungsanlage im Sinne des § 1 Abs. 1 KraftNAV darstellt.

Die Vorschriften der KraftNAV fördern den Netzanschluss neuer Erzeugungsanlagen zum einen durch Vorgaben zum Verfahren für den Netzanschluss, um Verzögerungen zu vermeiden, vgl. §§ 3 ff. KraftNAV. Darüber hinaus konkretisiert § 6 KraftNAV die Unzumutbarkeit des Netzanschlusses nach § 17 Abs. 2 EnWG. Dabei werden zwei für Kraftwerke derzeit bekannte und typische Fallvarianten fehlender technischer Eignung exemplarisch genannt, um in der Vergangenheit typische Streitpunkte zu vermeiden.<sup>197</sup> Von mangelnder technischer Eignung ist danach unter anderem dann auszugehen, wenn der Anschlusspunkt nicht über ausreichende Kurzschlussleistung oder einen ausreichenden Abfuhrquerschnitt verfügt und dieser Mangel nicht durch zumutbare Ausbaumaßnahmen beseitigt werden kann. Darüber hinaus stellt § 6 Abs. 2 KraftNAV ausdrücklich klar, dass der Netzanschluss nicht mit Hinweis auf Kapazitätsengpässe im Netz verweigert werden kann. Schließlich regelt § 6 Abs. 3 KraftNAV die Verpflichtung des Netzbetreibers, im Falle der Anschlussverweigerung einen anderen Anschlusspunkt vorzuschlagen, der im Rahmen des wirtschaftlich Zumutbaren die Absichten des Anschlussnehmers bestmöglich verwirklicht. Die Auswahl möglicher Optionen nach den Vorgaben des Anschlussnehmers dient dem allgemeinen Interesse an wettbewerbsfähigen Kraftwerksstandorten und endet an der gesetzlich vorgegebenen Grenze der wirtschaftlichen Unzumutbarkeit<sup>198</sup>, womit verhindert werden soll, dass die tatsächliche Herstellung des Anschlusses unter Verweis auf Drittanbieter verweigert wird.

#### **4.1.2 Kostentragung**

Maßgebliche Bedeutung für die Verwirklichung des Netzanschlusses hat die Verteilung der hiermit verbundenen Kosten. Zu unterscheiden ist zwischen den Kosten für die Herstellung des Anschlusses, insbesondere den Bau einer Anschlussleitung, und den Kosten für eine etwa erforderliche Optimierung, Verstärkung oder einen Ausbau des Netzes.

Die eigentlichen Netzanschlusskosten sind im Falle eines untertägigen Pumpspeicherwerks stets vom Anschlussnehmer zu tragen. Dies gilt auch, falls ausnahmsweise das EEG

---

<sup>196</sup> BGH v. 17.11.2009 – EnVR 56/08 (Rz. 5) - zitiert nach Juris.

<sup>197</sup> BR-Drs. 283/07, S. 21; Schneider/Theobald, S. 846.

<sup>198</sup> BR-Drs. 283/07, S. 21f.

zur Anwendung kommen sollte, vgl. § 13 Abs. 1 EEG. Abweichende Sonderregelungen wie für Offshore-Windenergieanlagen oder im Bereich der Biogaseinspeisung bestehen nicht. Entsprechendes ergibt sich auch aus § 8 Abs. 1 KraftNAV.

Dagegen sind alle Kosten für eventuell erforderliche Optimierungs-, Verstärkungs- oder Ausbaumaßnahmen grundsätzlich dem Netzbetreiber zuzuordnen. Diese Kosten können im Rahmen der Netzentgelte auf die Netznutzer umgelegt werden. Allerdings schließt das EnWG die Möglichkeit des Netzbetreibers nicht aus, vom Anschlussnehmer ggf. einen sog. Baukostenzuschuss zu verlangen, der dann entsprechend bei der Bestimmung der Netzentgelte in Abzug gebracht wird. Hierzu hat die Bundesnetzagentur ein Kalkulationsmodell entwickelt, um den Transparenzanforderungen des Gesetzes zu genügen, zugleich aber auch die nötige Steuerungswirkung zu entfalten, um das Entstehen überdimensionierter und ineffizienter Netze zu verhindern.<sup>199</sup>

Sonderregelungen ergeben sich insoweit aus EEG und KraftNAV. Soweit ausnahmsweise das EEG Anwendung finden sollte, sind die Kosten der Optimierung, Verstärkung und des Ausbaus gemäß § 14 EEG vollständig vom Netzbetreiber zu tragen, Baukostenzuschüsse also ausgeschlossen. Ähnliches gilt gemäß § 8 Abs. 3 KraftNAV. Allerdings sieht § 8 Abs. 2 KraftNAV insoweit vor, dass Kosten für die Ertüchtigung des Netzanschlusspunktes sowie den Netzausbau bis zum nächsten Netzknoten vom Anschlussnehmer zu tragen sind, soweit sie durch ausschließlich von ihm genutzte Betriebsmittel verursacht sind und diese Betriebsmittel nicht in das Eigentum des Netzbetreibers oder von Dritten übergehen.

## **4.2 Netzzugang**

### **4.2.1 Anspruch auf Netzzugang**

#### **4.2.1.1 Netzzugang gemäß § 20 EnWG**

§ 20 Abs. 1 EnWG regelt den grundsätzlichen Anspruch auf Netzzugang, also die Berechtigung zur Ein- und Ausspeisung von Strom in ein Elektrizitätsversorgungsnetz.

---

<sup>199</sup> BNetzA, Beschlusskammer 6, Positionspapier zur Erhebung von Baukostenzuschüssen (BKZ) für Netzanschlüsse im Bereich von Netzebenen oberhalb der Niederspannung, abrufbar unter: [http://www.bundesnetzagentur.de/cln\\_1911/DE/DieBundesnetzagentur/Beschlusskammern/1BK-Geschaeftszeichen-Datenbank/BK6/BK6p-xx-xxxVoruntersuchungen/BK6p-06-003/BK6p-06-003%20NavNode.html](http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1911/DE/DieBundesnetzagentur/Beschlusskammern/1BK-Geschaeftszeichen-Datenbank/BK6/BK6p-xx-xxxVoruntersuchungen/BK6p-06-003/BK6p-06-003%20NavNode.html) (zuletzt abgerufen am 30. Mai 2011).

Die zulässigen Versagungsgründe richten sich nach § 20 Abs. 2 EnWG. Zugangsverweigerungen sind zulässig, wenn der Netzbetreiber nachweist, dass der Netzzugang aus betriebsbedingten oder sonstigen Gründen unter Berücksichtigung der Ziele des § 1 EnWG nicht möglich oder nicht zumutbar ist. In diesem Zusammenhang sind insbesondere fehlende Netzkapazitäten denkbar, die einem Netzzugang entgegenstehen können. Wiederrum ist die Pflicht zu Optimierung, Verstärkung oder Ausbau des Netzes innerhalb des wirtschaftlich Zumutbaren gemäß § 11 Abs. 1 EnWG zu beachten. Insbesondere ist der Netzbetreiber auf Verlangen des Zugangspetenten zu (ggf. kostenpflichtigen) aussagekräftigen Informationen verpflichtet, welche Maßnahmen und damit verbundenen Kosten zum Netzausbau erforderlich wären, § 20 Abs. 2 S. 3 und 4 EnWG. Wie bereits im Zusammenhang mit dem Netzanschlussanspruch dargestellt, dürfte ein rechtzeitiger Netzausbau im Zusammenhang mit einem untertägigen Pumpspeicherwerk in der Regel möglich sein.

#### 4.2.1.2 Netzzugang gemäß § 8 EEG

Gemäß § 8 EEG sind Netzbetreiber grundsätzlich verpflichtet, den gesamten angebotenen Strom aus Erneuerbaren Energien oder Grubengas unverzüglich vorrangig abzunehmen, zu übertragen und zu verteilen. Insoweit greifen ähnliche Überlegungen wie zum Netzanschlussanspruch nach § 5 EEG. Im Ergebnis ist davon auszugehen, dass ein Anspruch auf vorrangigen Netzzugang allenfalls bestehen kann, wenn das untertägige Pumpspeicherwerk ausschließlich Strom aus Erneuerbaren Energien oder Grubengas verwendet. Dies kommt in aller Regel nicht in Betracht.

#### 4.2.1.3 Netzzugang gemäß KraftNAV

§ 7 KraftNAV sieht für neue Erzeugungsanlagen eine Bevorzugung des Netzzugangs im Falle von Engpässen im deutschen Übertragungsnetz vor. Die Regelung wird vorliegend jedoch nicht relevant werden, da eine Privilegierung voraussetzt, dass das Netzanschlussbegehren gemäß § 7 Abs. 2 Nr. 1 KraftNAV bis zum 31.12.2007 gestellt wurde.

#### **4.2.2 Kostengesichtspunkte**

Die Kosten hinsichtlich Optimierung, Verstärkung und Ausbau des Netzes trägt wiederum grundsätzlich der Netzbetreiber. Eine Abwälzung der Kosten auf die Netznutzer kann in der zulässigen Höhe über die Netzentgelte erfolgen. Insofern kann auf die entsprechende Darstellung unter 4.1.2 verwiesen werden.

### **4.3 Netzentgelte**

#### **4.3.1 Befristete Netzentgeltbefreiung**

Im derzeitigen Rechtsrahmen ist nur die Ausspeisung, nicht aber die Einspeisung von Elektrizität netzentgeltspflichtig. Grundsätzlich trifft die Netzentgeltspflicht auch den Strombezug durch Pumpspeicherwerke, ungeachtet der von diesen wahrgenommenen Speicherfunktion, wie nunmehr der BGH abschließend festgestellt hat.<sup>200</sup> Eine teilweise Freistellung von der Netzentgeltspflicht besteht allerdings aufgrund § 118 Abs. 7 EnWG, wonach nach dem 31.12.2008 neu errichtete Pumpspeicherkraftwerke, die bis zum 31. Dezember 2019 in Betrieb gehen, für einen Zeitraum von zehn Jahren ab Inbetriebnahme hinsichtlich des Bezugs der zu speichernden elektrischen Energie von den Entgelten für den Netzzugang freigestellt sind. Im Rahmen ihres 10-Punkte-Sofortprogramms zum Energiekonzept sieht die Bundesregierung vor, die Netzentgeltbefreiung für neue Pumpspeicherkraftwerke auf einen längeren Zeitraum auszudehnen, um Anreize zur Errichtung neuer Speicherkapazitäten in Deutschland zu setzen.<sup>201</sup> Die Umsetzung dieses Punktes im Rahmen der anstehenden EnWG-Novelle ist allerdings derzeit ungewiss. Im Ergebnis besteht für neue Pumpspeicherkraftwerke jedenfalls bei Inbetriebnahme bis zum 31. Dezember 2019 die Möglichkeit einer nicht unerheblichen finanziellen Förderung.

#### **4.3.2 Weitere Förderinstrumente**

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass sich eine weitere Förderung aus der Regelung des § 9 Abs. 1 Nr. 2 StromStG i.V.m. § 12 Abs. 1 Nr. 2 StromStV ergibt. Von der Stromsteuer ausgenommen ist danach Strom, der zur Stromerzeugung entnommen wird,

---

<sup>200</sup> BGH v. 17.11.2009 – EnVR 56/08 (Rz. 18ff.) – zitiert nach Juris.

<sup>201</sup> BT-Drs. 17/3049, S. 19.

und zwar insbesondere der in Pumpspeicherwerken von den Pumpen zum Fördern der Speichermedien zur Erzeugung von Strom verbrauchte Strom.

Noch nicht klar absehbar sind mögliche weitere Förderinstrumente, etwa die Einführung eines Kombi-Kraftwerksbonus bzw. eines Prämienmodells zur besseren Systemintegration von Strom aus Erneuerbaren Energien.



## **5. Haftungsrecht**

Im Idealfall ergeben sich aufgrund der Nachnutzung eines stillgelegten Bergwerks als untertägiges Pumpspeicherwerk keine negativen Auswirkungen, die haftungsrechtlich relevant wären. Allerdings ist zu bedenken, dass aufgrund der bergbaulichen Vornutzung der in Frage kommenden Projekt-Standorte Vorbelastungen bestehen können, welche sich im Rahmen der Nachnutzung auswirken können. Zwar klingen die Auswirkungen untertägigen Abbaus an der Oberfläche regelmäßig innerhalb einiger Jahre ab. Grundsätzlich bleiben jedoch Schadensereignisse auch nach sehr langen Zeiträumen noch möglich. Zudem sind sich gegebenenfalls ergebende Risiken bei Bau und Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks zu berücksichtigen. So muss zunächst im gesamten Bergwerksfeld das stehende Grubenwasser abgepumpt und eine neue Wasserhaltung installiert werden. Zudem erfolgen weitere größere Eingriffe durch Neuauffahrung mindestens eines Speicherbeckens sowie der Maschinenkaverne, mögliches Abteufen weiterer Schächte, Installieren eines Druckrohrschachts sowie ggf. Herstellung einer Vorrichtung zur Wasserzuführung bzw. -abführung. Als haftungsauslösende Tatbestände sind nach derzeitiger Einschätzung vor allem Auswirkungen von Erschütterungen sowie Gewässerbeeinflussungen denkbar.

In diesem Abschnitt werden die in Betracht kommenden zivilrechtlichen Haftungstatbestände hinsichtlich Bau bzw. Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks überblicksartig erörtert. Zusätzlich wird auf die öffentlich-rechtliche Verantwortlichkeit nach dem Umweltschadensgesetz eingegangen.

### **5.1 Zivilrechtliche Haftungsansprüche**

#### **5.1.1 Bergschadenshaftung nach §§ 114 ff. BBergG**

Im Rahmen von bergbaubedingten Tätigkeiten stellt § 114 Abs. 1 BBergG eine verschuldensunabhängige Gefährdungshaftung für Sach- und Personenschäden als Ausgleich für die weitgehenden, aus dem Bergbau resultierenden Duldungspflichten der Oberflächeneigentümer bereit. Für diese kann sich zudem unter den Voraussetzungen der Bergschadensvermutung im Rahmen des § 120 BBergG ihre Beweissituation hinsichtlich der Kausalität zwischen Bergbauhandlung und bei ihnen eingetretenem Schaden verbessern. Fraglich ist, ob eine Anwendbarkeit der §§ 114 ff. BBergG auch bezogen auf eine hier un-

tersuchte Nachnutzung besteht. Dabei ist zu differenzieren, durch wen der Schaden verursacht worden ist.

#### 5.1.1.1 Schadensverursachung durch ehemaligen Bergbau

Ist der Schaden ursächlich<sup>202</sup> nur auf den Vornutzer (Bergbauunternehmer) zurückzuführen, ist dieser nach §§ 114 ff. BBergG haftbar für den Fall, dass die Verursachung nach Inkrafttreten des BBergG stattgefunden hat.<sup>203</sup> Eine Haftung des Nachnutzers (also des Betreibers eines untertägigen Pumpspeicherwerks) scheidet mangels Zurechenbarkeit aus.

Anderes könnte nur gelten, wenn der Vornutzer mit dem Nachnutzer eine Haftungsvereinbarung getroffen hat, kraft derer der Nachnutzer den Vornutzer von seiner Haftung freizustellen hat. Dies ist insbesondere denkbar, wenn an dem stillgelegten Bergwerk noch Bergwerkseigentum besteht und der Bergwerkseigentümer die Veräußerung oder Nutzungsgenehmigung von einer solchen Haftungsvereinbarung abhängig macht. Es kommt insoweit auf die im Einzelfall getroffenen vertraglichen Vereinbarungen an.

#### 5.1.1.2 Schadensverursachung durch Nachnutzung

Ist der Schaden ursächlich nur auf den Nachnutzer zurückzuführen, findet die Bergschadenshaftung nach §§ 114 ff. BBergG keine Anwendung. Denn § 114 Abs. 1 BBergG ist auf bergbaubedingte Anwendungsfälle i.S.d. § 2 Abs. 1 Nr. 1 bis 3 BBergG beschränkt. Hierunter fällt eine bergbaufremde Nachnutzung durch ein untertägiges Pumpspeicherwerk nicht.

Auch eine analoge Anwendung der Bergschadensvorschriften ist ausgeschlossen. Hierfür spricht zum einen die ausdrückliche Beschränkung des Anwendungsbereiches auf Fälle

---

<sup>202</sup> Von einer „Verursachung“ ist auszugehen, wenn ein adäquater Zusammenhang zwischen der bergbaulichen Tätigkeit und dem Schaden besteht. Ursache des Schadens ist die schadensstiftende Einwirkung auf die Erdoberfläche im Zuge der Aufsuchung und Gewinnung; vgl. Boldt/Weller, BBergG, Hauptband, § 170 Rn. 2 sowie § 114 Rn. 37ff.

Entscheidend sind daher die maßgebenden Betriebshandlungen des Bergbaus und nicht der Zeitpunkt der Schadensentstehung, beispielsweise durch Beschädigungen an Gebäuden; vgl. BGH, Urt. v. 17.5.2001, III ZR 249/00, Rn. 7; Boldt/Weller, BBergG, Hauptband, § 170 Rn. 2f.

<sup>203</sup> Ansonsten wären die vor Inkrafttreten des BBergG geltenden Vorschriften anzuwenden. Dies hätte u.a. zur Folge, dass ein Rückgriff auf die Bergschadensvermutung, welche mit dem BBergG erstmals eingeführt wurden, nicht möglich wäre; vgl. Boldt/Weller, BBergG, Hauptband, § 120 Rn. 6.

des § 114 Abs. 1 Nr. 1 bis 3 BBergG. Zum anderen findet § 114 Abs. 1 BBergG weder auf eine Untergrundspeicherung i.S.d. § 126 BBergG, die sachlich eine gewisse Vergleichbarkeit mit der Nachnutzung als untertägliches Pumpspeicherwerk aufweist, noch auf Bohrungen nach § 127 BBergG Anwendung. Ebenso wenig war die Anwendbarkeit für die mittlerweile außer Kraft getretene Vorschrift des § 130 BBergG a.F. vorgesehen, welche u.a. die Herstellung von Hohlraumbauten betraf. Alle diese Normen fallen (fielen) unter § 2 Abs. 2 BBergG, auf den § 114 Abs. 1 BBergG gerade nicht verweist. Erst recht ist die Bergschadensregelung nach §§ 114 ff. BBergG nicht auf eine Nachnutzung anwendbar, für die das BBergG keinerlei Sondervorschrift enthält. Anderes könnte nur der Gesetzgeber vorsehen, wenn er eine entsprechende Gefährdungshaftung und Kausalitätsvermutung für angemessen hielte.<sup>204</sup>

Eine Haftung nach §§ 114 ff. BBergG ist schließlich auch dann nicht gegeben, wenn im Einzelfall Zweifel hinsichtlich der Verursachungsbeiträge von Vor- und Nachnutzer bestehen sollten. Insbesondere lässt sich eine Haftung nicht auf § 830 Abs. 1 S. 2 BGB stützen, der eine gesamtschuldnerische Haftung vorsieht, wenn sich nicht ermitteln lässt, wer von mehreren Beteiligten den Schaden durch seine Handlung verursacht hat. Zwar ist diese Vorschrift grundsätzlich auch auf Fälle der Gefährdungshaftung anwendbar.<sup>205</sup> Sie soll jedoch nur Beweisschwierigkeiten hinsichtlich der haftungsbegründenden Kausalität überwinden. Voraussetzung ist daher, dass jeder der Beteiligten – abgesehen vom Kausalitätsnachweis – den vollen Tatbestand einer Haftungsnorm verwirklicht hat.<sup>206</sup> Für §§ 114 ff. BBergG fehlt es wie dargestellt jedoch gerade an der Anwendbarkeit auf bergbaufremde Nachnutzungen.

Erst recht hilft ein Rückgriff auf § 119 BBergG bzw. § 840 Abs. 1 BGB nicht weiter. Diese setzen die festgestellte Verantwortlichkeit mehrerer selbständiger Schadensverursacher voraus und schaffen nicht selbst eine Anspruchsgrundlage.

---

<sup>204</sup> Eine solche Sondervorschrift enthält etwa der Referentenentwurf eines Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes in § 29 KSpG-E v. 23.7.2010, abrufbar unter [http://www.neue-energieanbieter.de/data/uploads/20100723\\_ccs\\_gesetzentwurf\\_verbaendeanhoerung.pdf](http://www.neue-energieanbieter.de/data/uploads/20100723_ccs_gesetzentwurf_verbaendeanhoerung.pdf).

<sup>205</sup> BGH NJW 1999, 3633 (3635).

<sup>206</sup> BGHZ 72, 355 (358); BGH NJW 1999, 3633 (3635).

### 5.1.2 Haftung für Gewässerveränderungen nach § 89 WHG

Für nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit enthält § 89 WHG einen gesonderten Haftungstatbestand, der im Falle eines untertägigen Pumpspeicherwerks Anwendung finden könnte. Er sieht eine weitreichende verschuldensunabhängige Gefährdungshaftung für Änderungen der Beschaffenheit jeglicher Gewässer vor.<sup>207</sup> § 89 WHG entspricht weitgehend dem Regelungsgehalt des § 22 WHG a.F.<sup>208</sup>, weswegen auf die zu letzterer Norm ergangene Rechtsprechung zurückgegriffen werden kann.

#### 5.1.2.1 Anwendbarkeit bei öffentlich-rechtlicher Genehmigung

Sofern für das untertägige Pumpspeicherwerk eine Planfeststellung bzw. Plangenehmigung nach § 68 WHG bejaht werden sollte (dazu oben unter 2.1.3.6) und hält sich der Betreiber an deren Vorgaben, so scheidet eine Haftung nach § 89 WHG für Veränderungen der Gewässerbeschaffenheit grundsätzlich aus. Vielmehr müssen Schadenersatz- und Entschädigungsansprüche grundsätzlich bereits im Planfeststellungsverfahren bzw. Plangenehmigungsverfahren geltend gemacht werden und, sofern dies erfolglos geschehen ist, mit den Mitteln des Verwaltungsrechtsschutzes gegen die Planfeststellung bzw. –genehmigung verfolgt werden, damit sie nicht ausgeschlossen sind. Einwendungen von Betroffenen werden im Rahmen eines wasserrechtlichen Planfeststellungsverfahrens (Plangenehmigungsverfahrens) durch den auf den Ausgleich widerstreitender Interessen gerichteten § 14 Abs. 3 WHG i.V.m. § 70 Abs. 1 WHG, wonach Inhalts- und Nebenbestimmungen zur Vermeidung bzw. zum Ausgleich der nachteiligen Wirkungen zu treffen sind, berücksichtigt. Sofern dies nicht möglich ist, ist gem. § 14 Abs. 3 S. 3 WHG der Betroffene zu entschädigen. Sofern bestimmte Wirkungen für den Betroffenen nicht voraussehbar waren und er deswegen keine Einwendungen im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens (Plangenehmigungsverfahrens) erhoben hat, sind gemäß § 14 Abs. 6 WHG nachträgliche Inhalts- und Nebenbestimmungen vorzunehmen bzw. der Betroffene zu entschädigen.

---

<sup>207</sup> BGHZ 124, 394 (395); BGHZ 62, 351 (359); Breuer (2004), Rn. 1095.

<sup>208</sup> BT-Drs. 16/12775, S. 78.

Eine entsprechende Rechtslage gilt im Falle wasserrechtlicher Bewilligungen, vgl. §§ 14, 16 Abs. 2 WHG. Dagegen stehen wasserrechtliche Erlaubnisse gemäß § 16 Abs. 1 WHG einem Schadensersatzanspruch nach § 89 WHG nicht entgegen.<sup>209</sup>

#### 5.1.2.2 Tatbestandliche Voraussetzungen des § 89 WHG

Die Gefährdungshaftung nach § 89 WHG findet zum einen auf das Einbringen oder Einleiten von Stoffen sowie sonstige Einwirkungen auf ein Gewässer Anwendung, durch die die Wasserbeschaffenheit nachteilig verändert wird, § 89 Abs. 1 WHG. Voraussetzung ist stets eine zweckbestimmte, gewässerbezogene Zuführung von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen bzw. ein sonstiges zweckgerichtetes, unmittelbar auf das Gewässer gerichtetes Verhalten. Dies ist etwa bei der Einleitung von Wasser aus einem Wasserlösungstollen in ein Gewässer zu bejahen, nicht aber etwa bei dem Versickern von Wasser aus einem Speicherbecken in das Grundwasser.

Daneben greift die Haftung nach § 89 WHG, wenn aus einer Anlage i.S.v. § 89 Abs. 2 WHG Stoffe in ein Gewässer gelangen, ohne in dieses eingebracht oder eingeleitet worden zu sein, und dadurch die Wasserbeschaffenheit nachteilig verändert wird. Der Anlagenbegriff ist dabei sehr weit zu verstehen. Darüber hinaus muss die Anlage eine typische Gefährlichkeit für die Wasserbeschaffenheit aufweisen; ungeschriebene Voraussetzung ist, dass es sich bei der Anlage um eine „gefährliche Anlage“ handelt, bei der die dort behandelten Stoffe typischerweise geeignet sind, die Beschaffenheit des Wassers zu verändern. Dies trifft für ein untertägliches Pumpspeicherwerk an sich nicht zu. Anders beurteilt dies die Rechtsprechung hinsichtlich eines Wasserlösungstollens, sofern das abgeleitete Wasser gefährliche Stoffe, z.B. Schwermetalle, enthält.<sup>210</sup> Auch die weiteren Tatbestandsvoraussetzungen können durch einen Wasserlösungstollen erfüllt werden. Insbesondere kommt als zu befördernder „Stoff“ Wasser<sup>211</sup>, z.B. auch gefördertes Grubenwasser, in Betracht. Bei entsprechender Gestaltung könnte insoweit also auch ein Pumpspeicherwerk dem § 89 Abs. 2 WHG unterfallen.

Eine nachteilige Veränderung der Beschaffenheit des Wassers kann die physikalische, chemische oder biologische Beschaffenheit des Wassers betreffen. Für den Betrieb eines

---

<sup>209</sup> BGH NJW 1971, 617 (617f.); Czychowski/Reinhardt, WHG, § 89 Rn. 40.

<sup>210</sup> OLG Köln, ZfW 1998, 396 (397f.).

untertägigen Pumpspeicherwerks kann dabei insbesondere die chemische Beschaffenheit, also der Gehalt an gelösten Stoffen, zu Anwendungsfällen führen.

Im Rahmen der Handlungshaftung nach § 89 Abs. 1 WHG muss das Verhalten des Betreibers kausal sein für die nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit und den daraus entstehenden Schaden eines anderen. Im Falle der Anlagenhaftung nach § 89 Abs. 2 WHG ist der Inhaber der Anlage für einen solchen Schaden verantwortlich, also derjenige, der die zum Gebrauch erforderliche Verfügungsgewalt besetzt, die Anlage demgemäß gebraucht, die Nutzungen zieht und die Kosten bestreitet<sup>212</sup>, wer also nach außen hin als der für sie Verantwortliche auftritt.<sup>213</sup> Das OLG Köln tendiert dazu, von einer Verfügungsgewalt auszugehen, falls Bergwerkseigentum bestand; dies kann auch dann der Fall sein, wenn der Bergwerkseigentümer niemals Bergbau an dieser Stelle betrieben hat. Weiteres Indiz kann in diesem Zusammenhang eine dergestalt eingetragene Grunddienstbarkeit darstellen, dass die Grundeigentümer bestimmte Duldungspflichten in Bezug auf die Unterhaltung des Stollens und seiner Abflüsse in das nächste Gewässer auferlegt bekommen hatten.<sup>214</sup> Ein Nachnutzer könnte daher durchaus für die Nutzung eines Wasserlösungsstollens als Ableitung von überschüssigem Grundwasser hin in einen Vorfluter als Inhaber gelten.

Da es sich bei § 89 WHG um einen Fall der Gefährdungshaftung handelt, ist zu betonen, dass schuldhaftes Verhalten nicht zu den Haftungsvoraussetzungen gehört. Allerdings schließt § 89 Abs. 2 S. 3 WHG für die Anlagenhaftung eine Ersatzpflicht im Falle höherer Gewalt aus. Entsprechendes wird teilweise für die Verhaltenshaftung nach § 89 Abs. 1 WHG befürwortet.<sup>215</sup> Klarzustellen ist, dass § 89 WHG jedenfalls auch bei Störfällen Anwendung findet.

---

<sup>211</sup> OVG Münster, ZfW 1989, 226 (227); Czychowski/Reinhardt, WHG, § 9 Rn. 35.

<sup>212</sup> BGHZ 80, 1 (4).

<sup>213</sup> BVerwG ZfW 1988, 350 (350f.).

<sup>214</sup> OLG Köln, ZfW 1998, 396 (398).

<sup>215</sup> Breuer (2004), Rn. 1119.

#### 5.1.2.3 Haftungsumfang

§ 89 Abs. 2 WHG gewährt Schadensersatz nach dem Umfang der allgemeinen zivilrechtlichen Vorschriften, §§ 249 ff. BGB. Der Höhe nach ist die Anlagenhaftung nicht begrenzt. Ersatzfähig sind auch reine Vermögensschäden.<sup>216</sup>

Angesichts der relativ weiten Tatbestandsfassung und der drohenden ausufernden Haftung<sup>217</sup> sind durch die Rechtsprechung einige haftungsbeschränkende Korrekturen entwickelt worden. Neben dem Erfordernis der adäquaten Kausalität ist insbesondere die Eingrenzung der Ersatzpflicht auf den normativen Schutzbereich<sup>218</sup> zu beachten, wonach nur die Schäden der Personen zu ersetzen sind, welche durch die nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit selbst und unmittelbar betroffen sind. Dies sind in erster Linie diejenigen, die das Wasser selbst, vor allem als Gewässerbenutzer i.S.v. § 9 WHG, in Anspruch nehmen.

#### 5.1.2.4 Zwischenergebnis

Kommt es im Zusammenhang mit dem Bau oder Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks zu Schäden aufgrund nachteiliger Veränderungen der Wasserbeschaffenheit, so trifft den Betreiber unter den geschilderten Voraussetzungen eine Gefährdungshaftung nach § 89 WHG. Diese ist im Gegensatz zu anderen Fällen der Gefährdungshaftung summenmäßig nicht begrenzt. Allerdings beschränkt sich die Haftung auf die unmittelbaren Folgen der nachteiligen Veränderungen der Wasserbeschaffenheit. Vorrangig zu § 89 WHG wäre eine Abhilfe durch Inhalts- und Nebenbestimmungen im Falle eines Planfeststellungsverfahrens nach § 68 WHG oder einer wasserrechtlichen Bewilligung.

---

<sup>216</sup> BGHZ 103, 129 (140).

<sup>217</sup> Eine der Höhe nach unbegrenzte Haftung ist für Gefährdungshaftungen an sich unüblich, wie z.B. §§ 9, 10 HaftPflG, § 12 StVG, § 37 LuftVG, § 10 ProduktHG, § 15 UmweltHG, § 33 GenTG zeigen; vgl. Czychowski/Reinhardt, WHG, § 89 Rn. 47.

<sup>218</sup> Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass der Schutzbereich dieser Norm weit gesteckt ist. Ziel des WHG ist es, eine geordnete Bewirtschaftung des ober- und unterirdischen Wassers herbeizuführen und Gewässerverunreinigungen vorzubeugen; vgl. BT-Drs. 2/3536, S. 13; BGH NJW 1999, 3203 (3204).



### **5.1.3 Deliktische Haftung nach § 823 BGB**

#### **5.1.3.1 § 823 Abs. 1 BGB**

Die deliktische Haftung nach § 823 Abs. 1 BGB setzt eine Schädigung voraus, die auf einer rechtswidrigen und schuldhaften Verletzung der in § 823 Abs. 1 BGB geschützten absoluten Rechtsgüter beruht. Vorliegend kämen insbesondere Gesundheits- oder Eigentumsverletzungen infolge von Erschütterungen oder Gewässerbeeinträchtigungen in Betracht.

Das Verhalten des Betreibers eines untertägigen Pumpspeicherwerks muss insoweit kausal für die Rechtsgutsverletzung sein, die ihrerseits zu dem Schaden geführt hat. Der eingetretene Schaden wird sich häufig nicht als unmittelbare Folge eines aktiven Tuns darstellen, sondern erst aus einer Verkettung unglücklicher Umstände resultieren oder gar als Folge eines pflichtwidrigen Unterlassens erscheinen. Für die Frage einer haftungsrechtlichen Zurechnung rückt damit das Erfordernis der Verletzung einer Verkehrspflicht in den Mittelpunkt.

Welche Maßnahmen zur Abwendung von Gefahren für Dritte zu ergreifen sind, hängt von den Umständen des Einzelfalles ab. Ob danach eine Verkehrspflicht besteht, hängt insbesondere von der Schwere des drohenden Schadens, der Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts sowie der Größe des Aufwandes ab. Grundlagen für Verkehrspflichten können Risikoveranlassung und Risikobeherrschung sowie der wirtschaftliche Vorteil sein, der durch das Risiko geschaffen wird.

Den Betreiber einer gewerblichen Anlage trifft daher unter dem Zurechnungsgrund der Schaffung bzw. Aufrechterhaltung einer Gefahrenquelle die Verkehrspflicht zur Vermeidung aller Gefahren, die von dem Zustand oder dem Betrieb der Anlage für die Rechtsgüter Dritter ausgehen können.<sup>219</sup> Hinsichtlich des Betriebens von gewerblichen Anlagen sind dabei an die Verkehrspflichten umso strengere Anforderungen zu stellen, je größer die von der Anlage ausgehende Gefahr für die Rechtsgüter Dritter, insbesondere für Leben und Gesundheit von Menschen ist.<sup>220</sup>

Wie bereits im Zusammenhang mit dem Bergschadensersatz unter 5.1.1.2 angesprochen, kann der Kausalitätsnachweis Schwierigkeiten bereiten, weil der eingetretene Schaden möglicherweise nicht auf das Verhalten des Betreibers eines untertägigen Pumpspeicher-

---

<sup>219</sup> Staudinger/Hager, BGB, § 823 E 274; für industrielle Anlagen ebenfalls bejaht durch Becker, S. 153; für das Betreiben einer Stauanlage bejaht durch BGH DVBl 2006, 767 (768).

<sup>220</sup> BGH VersR 1978, 538 (540).

werks, sondern des Vornutzers (Bergbauunternehmers) zurückzuführen ist. Zu beachten ist aber, dass die Verhaltensverantwortlichkeit des Betreibers eines untertägigen Pumpspeicherwerks auch auf einem pflichtwidrigen Unterlassen beruhen kann.

§ 830 Abs. 1 S. 2 BGB kann den Kausalitätsnachweis in der Regel nicht entbehrlich machen. Voraussetzung für eine Haftung nach §§ 823 Abs. 1, 830 Abs. 1 S. 2 BGB ist zum einen, dass der Betreiber alle übrigen Voraussetzungen – mit Ausnahme des Kausalitätsnachweises – des § 823 Abs. 1 BGB erfüllt. Zum anderen müssen Vor- und Nachnutzer als „Beteiligte“ im Sinne des § 830 Abs. 1 S. 2 BGB anzusehen sein. Teilweise wird dies dann angenommen, wenn die einzelnen Gefährdungsbeiträge zu einem nach den Anschauungen des täglichen Lebens einheitlichen Vorgang verbunden sind, insbesondere in räumlichem und zeitlichem Zusammenhang stehen.<sup>221</sup> Weitergehend wird dies teilweise bereits dann bejaht, wenn die Schwierigkeit des Kausalitätsnachweises auf der Gleichartigkeit der Ereignisse und der Ähnlichkeit der Folgen beruht.<sup>222</sup> Vorliegend erscheint hingegen vor allem die Problematik relevant, dass nicht geklärt werden kann, ob die eingetretene Schädigung auf die frühere Bergbautätigkeit oder den späteren Bau oder Betrieb des untertägigen Pumpspeicherwerks zurückzuführen ist. Hier hilft § 830 Abs. 1 S. 2 BGB nicht weiter.<sup>223</sup>

Die deliktische Haftung nach § 823 Abs. 1 BGB setzt zudem, da es sich um eine verschuldensabhängige Haftung und keinen Fall der Gefährdungshaftung handelt, zumindest fahrlässiges Verhalten – sei es auch in Form des Unterlassens – des Betreibers voraus. Solches wird sich häufig nur schwer nachweisen lassen.

#### 5.1.3.2 § 823 Abs. 2 BGB

Einen weiteren Tatbestand der deliktischen Haftung enthält § 823 Abs. 2 BGB. Dieser statuiert eine Schadenersatzpflicht bei Verstoß gegen ein Gesetz, das den Schutz eines anderen bezweckt. Schutzgesetze sind dabei solche, die den Charakter von Ge- oder Verbotsnormen haben und dem Individualschutz dienen.<sup>224</sup> Beispielsweise kämen §§ 4, 10

---

<sup>221</sup> BGHZ 55, 86 (93); BGHZ 72, 355 (359).

<sup>222</sup> BGHZ 101, 106 (112f.).

<sup>223</sup> Vgl. auch BGH NJW 1999, 3633 (3635 f.) für den Fall, dass sich bei einem Inhaberwechsel nicht klären lässt, in wessen Verfügungszeit die schadensursächliche Emission fällt.

<sup>224</sup> HK-BGB, § 823 Rn. 145ff.; BGHZ 100, 13 (14).

TrinkwV<sup>225</sup> sowie § 22 BImSchG<sup>226</sup> in Betracht. Hier können sich vergleichbare Probleme des Kausalitäts- und Verschuldensnachweises stellen wie im Falle des § 823 Abs. 1 BGB.

#### **5.1.4 Haftung nach dem UmweltHG**

Keine Ansprüche können sich aus dem Umwelthaftungsgesetz ergeben. Die hier geregelte anlagenbezogene Gefährdungshaftung für Umweltschäden ist durch Anlage 1 UmweltHG auf bestimmte Anlagen begrenzt. Ein untertägiges Pumpspeicherwerk fällt nicht in den enumerativ ausgestalteten Anwendungsbereich.

#### **5.1.5 Haftung nach dem HaftPflG**

Für ein unterirdisches Pumpspeicherwerk als solches nicht einschlägig sind zudem Regelungen aus dem HaftPflG. Gemäß § 2 Abs. 1 S. 1 HaftPflG besteht eine Schadensersatzpflicht u.a., sofern durch die Wirkungen von Elektrizität oder Flüssigkeiten, die von einer Stromleitungs- oder Rohrleitungsanlage oder einer Anlage zur Abgabe der vorgenannten Energien oder Stoffe ausgehen, ein Mensch getötet, der Körper oder die Gesundheit eines Menschen verletzt oder eine Sache beschädigt wird. § 2 HaftPflG erfasst jedoch keine Anlagen, die unmittelbar der Förderung, Produktion oder Verarbeitung der in § 2 Abs. 1 S. 1 HaftPflG angeführten Energie dienen, wie u.a. Turbinen oder Pumpspeicherwerke.<sup>227</sup> Die verschärfte Haftung für gefährliche Betriebe aus § 3 HaftPflG, welche u.a. Bergwerke erfasst, kommt nach derzeitiger Auslegung des Begriffs „Bergwerk“ ebenfalls nicht in Betracht.<sup>228</sup> Eine Ausdehnung der abschließenden Aufzählung auf andere Anlagen, die ähnliche oder sogar größere Gefahren auslösen, ist nicht zulässig.<sup>229</sup>

Eine Haftung nach § 2 Abs. 1 S. 1 HaftPflG kommt allerdings für Anlagen zur Abgabe der Energie und für Stromleitungen in Betracht. So werden als Anlagen zur Abgabe von Energie u.a. Transformatoren und Regler in den Übergabestationen von Großabnehmern ver-

---

<sup>225</sup> BGH NJW 1983, 2935 (2936).

<sup>226</sup> BGHZ 122, 1 (4).

<sup>227</sup> Filthaut, HaftPflG, § 2 Rn. 15.

<sup>228</sup> Filthaut, HaftPflG, § 3 Rn. 6.

<sup>229</sup> Filthaut, HaftPflG, § 3 Rn. 3.

standen, die die Energie in einer für den Verwendungszweck geeigneten Form zur Verfügung stellen.<sup>230</sup> Zudem fallen elektrische Leitungen unter diese Vorschrift.<sup>231</sup>

Die Haftung des § 2 Abs. 1 S. 1 HaftPflG ist als Gefährdungshaftung ausgestaltet, d.h., es kommt auch ein Verschulden oder einen ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage zum Zeitpunkt der Schadensverursachung nicht an.<sup>232</sup> Haftungseinschränkungen ergeben sich allerdings durch § 2 Abs. 3 HaftPflG, insbesondere wenn der Schaden durch höhere Gewalt verursacht worden ist, es sei denn, dass er auf das Herabfallen von Leitungsdrähten zurückzuführen ist. Zudem ergeben sich Haftungshöchstgrenzen aus §§ 9, 10 HaftPflG.

### **5.1.6 Entschädigung nach § 906 Abs. 2 S. 2 BGB**

#### **5.1.6.1 Anwendbarkeit**

§ 906 Abs. 2 S. 2 BGB sieht unter bestimmten Voraussetzungen einen nachbarrechtlichen Ausgleichsanspruch des Grundeigentümers vor.

Ein solcher Ausgleichsanspruch ist nicht nur im „klassischen“ horizontalen nachbarlichen Verhältnis denkbar, sondern kann auch im vertikalen Bereich in Betracht kommen.<sup>233</sup> Dies kann insbesondere bei Auswirkungen durch ein untertägiges Pumpspeicherwerk auf die Oberfläche sowie bei Einschränkungen hinsichtlich der Nutzung des Grundstücks aufgrund der Nutzungskonkurrenz mit der untertägigen Nutzung der Fall sein, was schon unter Abschnitt 3.3.2 dargestellt wurde.

Ein Ausgleichsanspruch nach § 906 Abs. 2 S. 2 BGB scheidet allerdings neben § 89 WHG aus.<sup>234</sup> Zudem ist ein solcher Anspruch nach der Rechtsprechung des BGH jedenfalls im Falle eines Planfeststellungsverfahrens grundsätzlich ausgeschlossen. Dies gilt selbst dann, wenn der Vorhabenträger die nachbarschützenden Planvorgaben nicht einhält.<sup>235</sup>

---

<sup>230</sup> Filthaut, HaftPflG, § 2 Rn. 12.

<sup>231</sup> Filthaut, HaftPflG, § 2 Rn. 9f.

<sup>232</sup> Filthaut, HaftPflG, § 2 Rn. 29.

<sup>233</sup> BGHZ 110, 17 (23f.); BGH VersR 2009, 792 (793).

<sup>234</sup> BGHZ 161, 323 (329); BGH VersR 2009, 792 (794).

<sup>235</sup> BGH UPR 2010, 191 (191f.).

#### 5.1.6.2           Anspruchsvoraussetzungen

Für einen nachbarrechtlichen Ausgleichsanspruch ist eine wesentliche Einwirkung auf das Grundstück des Betroffenen notwendig, welche ortsüblich und durch technische bzw. sonstige Maßnahmen nicht zu verhindern ist und insoweit eine § 1004 S. 1 BGB ausschließende Duldungspflicht bewirkt. Diese wird in einen Ausgleichsanspruch umgewandelt, wenn die Beeinträchtigung unzumutbar ist.

Hinsichtlich einer Einwirkung i.S.v. § 906 I 1 BGB könnten im Rahmen der Nachnutzung insbesondere Erschütterungen relevant werden. Ob diese wesentlich<sup>236</sup> sind, ist im Rahmen einer Einzelfallbetrachtung vorzunehmen, wobei die Regelvermutung der Unwesentlichkeit nach § 906 Abs. 1 S. 2 und 3 BGB zu berücksichtigen ist, die bei Einhaltung der Grenzwerte nach Gesetz, Rechtsverordnung oder Verwaltungsvorschrift nach § 48 BImSchG eingreift.<sup>237</sup>

Da nur ortsübliche Einwirkungen die Duldungspflicht auslösen und zu einem Ausgleichsanspruch führen können, ist schließlich ein Vergleich des störenden Grundstücks mit anderen Grundstücken im Vergleichsgebiet vorzunehmen.<sup>238</sup> Ortsüblichkeit ist eine Nutzung dann, wenn in der Umgebung eine Mehrzahl von Grundstücken nach Art und Umfang einigermaßen gleich benutzt wird.<sup>239</sup> Unter Umständen kann dabei schon die Art der Benutzung nur eines Grundstückes den Gebietscharakter prägen.<sup>240</sup> Sofern im konkreten Fall eine Ortsüblichkeit bejaht wird und keine wirtschaftlich zumutbare Möglichkeit der Abwendung von Einwirkungen besteht, ist eine Duldungspflicht seitens des Oberflächeneigentümers und damit ein Anspruch in direkter Anwendung des § 906 Abs. 2 S. 2 BGB gegeben. Ein Verschulden ist nicht notwendig.

Jedoch kann nach ständiger Rechtsprechung des BGH auch eine nicht ortsübliche Einwirkung ausnahmsweise vom betroffenen Eigentümer zu dulden sein und stattdessen einen nachbarrechtlichen Ausgleichsanspruch nach § 906 Abs. 2 S. 2 BGB analog auslö-

---

<sup>236</sup> „Wesentlichkeit“ bemisst sich dabei nach dem Empfinden eines verständigen Durchschnittsmenschen im Hinblick auf die durch Natur, Gestaltung und Zweckbestimmung geprägte konkrete Beschaffenheit des betroffenen Grundstücks; vgl. BGHZ 120, 239 (259); 121, 248 (255); 140, 1 (4)

<sup>237</sup> Diese Indizwirkung gilt allerdings nicht bei Vorschriften, die private Standards darstellen, wie DIN- oder VDI Normen. Die dort geregelten Grenzwerte können allerdings bei einer Gesamtwürdigung als Entscheidungshilfe Berücksichtigung finden; vgl. BGHZ 111, 63 (67); BGH NJW 2005, 660 (663).

<sup>238</sup> BGHZ 97, 97 (105); 111, 63 (73).

<sup>239</sup> BGHZ 111, 63 (72); 117, 111 (113).

<sup>240</sup> BGHZ 69, 105 (111); LG Hechingen, NJW 1987, 2749.

sen: Nach ständiger Rechtsprechung des BGH betrifft dies Fälle von eigentlich nach § 1004 S. 1 BGB abwehrbaren Beeinträchtigungen, die jedoch aus rechtlichen oder tatsächlichen Gründen nicht rechtzeitig unterbunden werden können. Dies kann beispielsweise hinsichtlich Immissionen von Seiten sogenannter gemeinwichtiger Betriebe oder Einrichtungen der Fall sein, gegenüber denen der Betroffene einen Anspruch auf Einstellung des Betriebs nicht geltend machen konnte.<sup>241</sup> Um einen gemeinwichtigen Betrieb könnte es sich aufgrund der Bedeutung des Ausbaus von Energiespeicherkapazitäten auch hinsichtlich des hier betrachteten Vorhabens handeln.

Für die theoretische Anwendbarkeit von § 906 Abs. 2 S. 2 BGB analog im Falle unterirdischer Pumpspeicherwerke spricht zudem, dass ein nachbarrechtlicher Ausgleichsanspruch seitens des BGH auch im vertikalen Nachbarschaftsverhältnis für möglich gehalten wurde. Entschieden wurde dies für den Fall, dass ein Eigentümer in der Nutzung seines Grundeigentums (§ 905 S. 1 BGB) durch die von ihm aus übergeordneten Interessen hinzunehmender Tiefennutzung (zur Gasspeicherung als Bestandteil der öffentlichen Gasversorgung) seines Grundstücks durch einen anderen unzumutbar beeinträchtigt wird.<sup>242</sup>

#### 5.1.6.3 Rechtsfolge

Dem Grundeigentümer steht bei Vorliegen der Tatbestandsvoraussetzungen ein Anspruch auf einen angemessenen Ausgleich in Geld zu. Dieser Entschädigungsanspruch betrifft nur den unzumutbaren Teil der Beeinträchtigung, welcher nach Billigkeitsgesichtspunkten unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls festzustellen ist.

#### 5.1.6.4 Zwischenergebnis

Aufgrund der weiten Auslegung des § 906 Abs. 2 S. 2 BGB ist ein nachbarrechtlicher Ausgleichsanspruch bei entsprechenden Beeinträchtigungen durch ein untertägiges Pumpspeicherwerk denkbar. Unter Berücksichtigung der Rechtsprechung zum vertikalen Gemeinschaftsverhältnis können sich Anwendungsfälle etwa infolge von Erschütterungen

---

<sup>241</sup> BGHZ 48, 98 (104); 60, 119 (122f.); 91, 20 (23); 144, 200 (205, 209).

<sup>242</sup> BGHZ 110, 17 (24); allgemein hierzu Erman/Lorenz, BGB, § 905 Rn. 9; BGB-RGRK/Augustin, § 905 Rn. 14.

durch Bau oder Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherwerks ergeben. Darüber hinaus kann eine Beeinträchtigung der Grundstücks(tiefen)nutzung zu entsprechenden Ausgleichsforderungen führen.

## **5.2 Öffentlich-rechtliche Verantwortlichkeit nach USchadG**

### **5.2.1 Grundlagen**

Das der polizeirechtlichen Störerhaftung nachgebildete<sup>243</sup> USchadG ist im Rahmen seines Anwendungsbereiches insbesondere auf Vermeidung von Gefahren und Sanierung bereits eingetretener ökologischer Schäden ausgerichtet. Es werden also keine von Privatpersonen erlittenen Schäden an Individualrechtsgütern reguliert. Damit wird ein gemeinschaftsrechtlich begründeter Mindeststandard hinsichtlich der Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden begründet.<sup>244</sup>

Sofern ein Umweltschaden i.S.d. USchadG vorliegt, der durch eine der unter § 3 Abs. 1 Nr. 1 Anlage 1 USchadG abschließend aufgezählten beruflichen Tätigkeiten verursacht wurde, kommt einer etwaigen behördlichen Genehmigung keine Legalisierungswirkung zu. Denn die in Anlage 1 USchadG aufgeführten beruflichen Tätigkeiten beziehen sich gerade auf Sachverhalte, bei welchen eine Genehmigung notwendig ist. Diese erweiterte öffentlich-rechtliche Verantwortlichkeit führt dazu, dass die Legalisierungswirkung von Genehmigungen mit erheblichen wirtschaftlichen Folgen weiter eingeschränkt wird, auch wenn beispielsweise eine umfassende Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt wurde.<sup>245</sup>

### **5.2.2 Anwendbarkeit und Voraussetzungen**

Neben der Subsidiaritätsklausel des § 1 USchadG wird der Anwendungsbereich dieses Gesetzes insbesondere durch seine enge Definition des Umweltschadens gem. § 2 Nr. 1 lit. a bis c USchadG begrenzt. Danach kann ein Umweltschaden nur bei einer Schädigung von bestimmten Arten und natürlichen Lebensräumen nach Maßgabe des § 19 BNatSchG, einer Schädigung eines Gewässers nach Maßgabe des § 90 WHG oder einer Schädigung

---

<sup>243</sup> BT-Drs. 16/3806, S. 20f.; Wagner, VersR 2008, 565 (566).

<sup>244</sup> BT-Drs. 16/3806, S. 19.



des Bodens durch eine die menschliche Gesundheit gefährdende Beeinträchtigung der Bodenfunktionen i.S.v. § 2 Abs. 2 BBodSchG gegeben sein. Zudem muss es sich teilweise um eine erhebliche nachteilige Auswirkung handeln, wobei zu beachten ist, dass die Rechtsprechung im Falle einer FFH-Verträglichkeitsprüfung die Schwelle der Erheblichkeit bei Beeinträchtigungen der Schutz- und Erhaltungsziele von Natura 2000 – Gebieten sehr niedrig ansetzt.

Bei einer Nachnutzung durch ein untertägiges Pumpspeicherwerk wäre neben möglichen Gewässerschäden zumindest theoretisch eine Schädigung von bestimmten Arten und natürlichen Lebensräumen i.S.v. § 19 BNatSchG denkbar. Dies müsste eine Einzelfallprüfung klären.

Im Rahmen der unter Nr. 3 und Nr. 4 Anlage 1 USchadG aufgelisteten Tätigkeiten kommt eine Verhaltensverantwortlichkeit<sup>246</sup> in Betracht, falls ein Umweltschaden aufgrund des Einbringens, der Einleitung oder des sonstigen Eintrags von Schadstoffen in Oberflächengewässer oder das Grundwasser im Rahmen einer wasserrechtlichen Erlaubnis gemäß § 8 Abs. 1 WHG auftritt bzw. sich ein Umweltschaden durch das erlaubnispflichtige Entnehmen von Wasser aus Gewässern ergibt.

Auffangtatbestand für sonstige berufliche Tätigkeiten, welche nicht in Anlage 1 USchadG enthalten sind, ist § 3 Abs. 1 Nr. 2 USchadG, allerdings nur bei Schädigung von bzw. unmittelbarer Gefahr für Arten oder natürlichen Lebensräumen i.S.d. § 19 II, III BNatSchG, sofern sie vorsätzlich oder fahrlässig erfolgte.

### **5.2.3            Rechtsfolgen**

Den Verantwortlichen treffen die in §§ 4 bis 6 USchadG geregelten Pflichten (Information, Gefahrenabwehr, Sanierung), und zwar unmittelbar kraft Gesetzes, d.h. es sind keine behördlichen Anordnungen notwendig. Kommt der Verantwortliche diesen Pflichten nicht freiwillig nach, kann er von der zuständigen Behörde dazu gezwungen werden. Hierfür hat der Verantwortliche die Kosten zu tragen.

---

<sup>245</sup> Versteyl/Prelle, S. 13 und 27.

<sup>246</sup> Anmerkung: Eine Zustandsverantwortlichkeit ist im Rahmen des USchadG ausgeschlossen, vgl. § 2 Nr. 3 USchadG.

#### **5.2.4 Zwischenergebnis**

Da durch das USchadG nur ein Mindeststandard festgelegt wird, der durch geltendes nationales Recht oft schon erreicht und übertroffen wird, ist die Relevanz für ein untertägliches Pumpspeicherwerk eher gering. Es stellt, wie gezeigt, einen Fall der Durchbrechung der Legalisierungswirkung von Genehmigungen dar und könnte insbesondere bei Fällen von Gewässerverunreinigungen die Haftungsnorm des § 89 WHG ergänzen.<sup>247</sup> Kraftwerksbetreiber wären allerdings schon aufgrund der weitreichenden Haftungsnorm des § 89 WHG gehalten, Gewässerveränderungen zu verhindern, um nicht in die dort vorgesehene Gefährdungshaftung zu geraten.

### **5.3 Zusammenfassung**

Die in diesem Abschnitt dargestellten zivilrechtlichen Haftungsvorschriften bzw. öffentlich-rechtlichen Normen zur Gefahrenabwehr stellen lediglich abstrakte Überlegungen zum „worst case“ dar. Sie kommen nur im Schadensfalle zur Anwendung. Eine Anwendung der auf abstrakter Ebene erarbeiteten Ergebnisse auf die beiden Modellbergwerke unterbleibt daher an dieser Stelle.

Dennoch können die dargestellten Haftungsrisiken beispielsweise dadurch Bedeutung gewinnen, dass ihnen im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens oder durch zusätzliche (kostenverursachende) Vorbeugemaßnahmen besonders Rechnung getragen wird.

Da nicht ohne weiteres absehbar ist, welche Gefahrenlagen aufgrund des zuvor betriebenen Bergbaus noch bestehen oder sich in Zukunft (ob durch Wechselwirkungen mit der Nachnutzung oder selbständig) realisieren können, sind im gesamten Bergwerksfeld Untersuchungen sinnvoll, um eine betriebswirtschaftliche Abschätzung der Risiken und daraus entstehender Kostenrisiken (hinsichtlich notwendiger Gefahrenabwehrmaßnahmen sowie etwaiger zivilrechtlicher oder öffentlich-rechtlicher Haftungsansprüche) vornehmen zu können.

---

<sup>247</sup> BT-Drs. 16/3806, S. 18.

## **6. Überblick zur genehmigungsrechtlichen Situation bei Hybridlösungen**

Im Rahmen der gemeinsamen Forschungsarbeiten der unterschiedlichen Teildisziplinen dieser Studie wurde der Schwerpunkt auf die Betrachtung von komplett untertägigen Pumpspeicherwerken sowie die beiden komplett untertägigen Modellbergwerke Grund und Pöhla gelegt. Abschließend soll kurz darauf eingegangen werden, welche Änderungen oder Besonderheiten sich bei der Verortung eines Speicherbeckens unter Tage und des anderen Speicherbeckens oberirdisch (sog. Hybridlösung) aus genehmigungsrechtlicher Sicht ergeben könnten.

### **6.1 Immissionsschutzrecht**

Aus immissionsschutzrechtlicher Sicht sind nach derzeitigem Stand keine grundlegenden Änderungen ersichtlich. Hinsichtlich der etwaigen Aufhaldung von Gesteinsaushub besteht allerdings die Möglichkeit, dass sich die Aushubmenge deutlich verringert. Zudem könnten sich ggf. Veränderungen ergeben, sofern sich das anfallende Aushubmaterial für die Anlage des oberirdischen Beckens als Baumaterial eignet (siehe Teilbericht Wirtschaft).

Es ist fraglich, ob in diesem Fall die dargestellte rechtliche Einordnung des Aushubmaterials als Abfall i.S.d. KrW-/AbfG Bestand hat oder ob der Gesteinsaushub, sofern er zur Anlage des oberirdischen Speicherbeckens verwendet werden kann, als Nebenprodukt zu klassifizieren ist (siehe oben 2.1.1.3.1.2.2). Nach der Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofs ist der Abfallbegriff nicht eng auszulegen und ein Produkt in Abgrenzung zu Abfall nur anzunehmen, sofern die Wiederverwendung nicht nur möglich, sondern ohne vorherige Bearbeitung in Fortsetzung des Gewinnungsverfahrens gewiss ist.<sup>248</sup> Danach bestehen an der Möglichkeit der Einordnung des Aushubmaterials als Nebenprodukt zumindest Zweifel. Es scheint nicht unwahrscheinlich, dass der anfallende Gesteinsaushub zumindest teilweise wird bearbeitet werden müssen, bevor er als Grundlage bzw. Begrenzung eines künstlichen oberirdischen Speicherbeckens eingesetzt werden kann, bei-

---

<sup>248</sup> EuGH, Urt. v. 18.4.2002, Rs. C-9/00 - Palin Granit Oy u.a. / Petrolkoks, NVwZ 2002, 1362 (Rn. 23, 28 f., 36 ff.); EuGH, Urt. v. 18.12.2007, Rs. C-194/05 – Kommission / Italien, Rn. 38 ff.

spielsweise durch weitere Zerkleinerung. Daher wird eine Verneinung der Abfalleigenschaft nur im Einzelfall und unter engen Grenzen möglich sein. Somit wird nach derzeitiger Einschätzung in aller Regel die Abfalleigenschaft des Gesteinsaushubs zu bejahen sein.

## **6.2 Bergrecht**

Auch aus bergrechtlicher Sicht ergeben sich keine grundlegenden Unterschiede. Die weitgehende Unanwendbarkeit bergrechtlicher Vorschriften ist auch bei einer Hybridlösung gegeben. Wiederum ist das Fehlen eines bergrechtlichen Genehmigungsverfahrens problematisch (siehe zusammenfassend hierzu unter 2.1.2.4). Denn auch bei einem nur teilweise unterirdischen Pumpspeicherwerk ist insbesondere aufgrund der Auffahrung eines unterirdischen Speicherbeckens, des etwaigen Abteufens neuer Schächte sowie der notwendigen Zutageführung des 110kV-Kabels von der Maschinenkaverne bis zur Oberfläche eine bergbehördliche Prüfung wünschenswert.

## **6.3 Wasserrecht**

### **6.3.1 Anwendbarkeit des WHG**

Wasserrechtliche Veränderungen könnten sich ggf. ergeben, sofern als Oberbecken ein bestehendes oberirdisches Gewässer i.S.v. § 3 Nr. 1 WHG genutzt werden sollte. Hier wäre zunächst einmal grundsätzlich von einer Gewässereigenschaft des oberirdischen Beckens auszugehen, wenngleich die Gewässereigenschaft auch hier im Einzelfall wegfallen kann, sofern das Gewässer aufgrund Zurücktretens der natürlichen Gewässerfunktion nicht mehr als Bestandteil des Wasserhaushalts gesehen werden kann. Ob die Gewässereigenschaft verlorenght, hängt von den tatsächlichen Verhältnissen ab.<sup>249</sup> Wie bereits ausgeführt, wird die Gewässereigenschaft bei oberirdischen Speicherbecken von Pumpspeicherwerken verbreitet verneint. Dies dürfte jedenfalls dann gelten, wenn das obere Speicherbecken von dem bestehenden Gewässer getrennt wird. In diesem Fall tritt die technische Funktion als Pumpspeicherwerk in den Vordergrund und schließt die Gewässereigenschaft aus.

---

<sup>249</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 3 Rn. 25f.

Sofern die Gewässereigenschaft des „Oberbeckens“ demgegenüber im Einzelfall bejaht werden sollte, besteht zudem die Möglichkeit, dass auch das untertägige Speicherbecken als Gewässer einzuordnen sein könnte. Dessen Wasser würde ständig wieder in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgegeben. Hierfür könnte man vergleichend die gewässerrechtliche Situation bei fließenden Gewässern anführen: So trennt die streckenweise Einführung eines Baches in Rohre, Tunnel oder Düker allein noch nicht den Zusammenhang dieses Gewässerteils vom gesamten Gewässerbereich und hebt damit nicht seine Eigenschaft als oberirdisches Gewässer auf.<sup>250</sup> Nach dem Sinn und Zweck des WHG müssten die Vorschriften über oberirdische Gewässer grundsätzlich auch dann Anwendung finden, wenn die künstliche Verbindung zwischen zwei oberirdischen Gewässern auf ihrer ganzen Länge unterirdisch verläuft (beispielsweise Verbindungsstollen zwischen zwei Talsperren).<sup>251</sup> Die Einordnung ist insoweit bislang aber nicht gesichert.

Sofern ein künstliches oberirdisches Speicherbecken geschaffen wird, ist ebenfalls zu prüfen, ob dieses als Gewässer i.S.d. WHG einzuordnen ist. Auch künstlich geschaffene Gewässer (vgl. § 3 Nr. 4 WHG) wie z.B. Talsperren, Baggerseen, Tagebaurestseen oder angelegte Teiche und Seen sind grundsätzlich als oberirdische Gewässer einzuordnen.<sup>252</sup> Wiederum käme es darauf an, ob die Gewässereigenschaft aufgrund wertender Betrachtung verloren gegangen ist, weil die natürliche Gewässerfunktion gegenüber dem Betrieb als Pumpspeicherwerk in den Hintergrund getreten ist (vgl. schon unter 2.1.3.1.2.1).

### **6.3.2 Benutzungstatbestände nach § 9 WHG**

Auch bei einer Hybridlösung ist grundsätzlich auf die unter 2.1.3.2.1 aufgeführten Benutzungstatbestände abzustellen. Unterschiede können sich aber insbesondere hinsichtlich der Benutzung oberirdischer Gewässer ergeben. So kann mit der Errichtung des Oberbeckens ein Aufstauen oder Absenken von oberirdischen Gewässern nach § 9 Abs. 1 Nr. 2 WHG verbunden sein. Zudem findet möglicherweise ein Einbringen oder Einleiten von Stoffen (Wasser) nach § 9 Abs. 1 Nr. 4 WHG unmittelbar in oberirdische Gewässer statt.

---

<sup>250</sup> BVerwG ZfW 1997, 26; OVG Hamburg, ZfW 1993, 115; Czychowski/Reinhardt, WHG, § 3 Rn. 13.

<sup>251</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 3 Rn. 13.

<sup>252</sup> Czychowski/Reinhardt, WHG, § 3 Rn. 13 und 55.

Auch das Zutagefördern von Grundwasser nach § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG kann möglicherweise unmittelbar in oberirdische Gewässer erfolgen.

Weitere Unterschiede ergeben sich, wenn das Oberbecken selbst als oberirdisches Gewässer eingeordnet werden sollte (oben 6.3.1). Es ist nicht auszuschließen, dass in diesem Fall jeder Zyklus des Pumpspeicherwerkes als Entnehmen von Wasser i.S.v. § 9 Abs. 1 Nr. 1 WHG anzusehen und möglicherweise mit einer Wasserbenutzungsgebühr zu belegen wäre. Anderes würde allerdings gelten, falls auch das Unterbecken als Teil des oberirdischen Gewässers anzusehen sein sollte. Insoweit erscheint die Rechtslage weitgehend ungeklärt.

### **6.3.3 Gewässerausbau gemäß §§ 67, 68 WHG**

Wie ausgeführt wird ein oberirdisches Speicherbeckens häufig nicht selbst als „Gewässer“ i.S. des WHG anzusehen sein (oben 6.3.1). Wenn jedoch zur Errichtung des Oberbeckens auf ein bestehendes oberirdisches Gewässer eingewirkt wird, so könnte jedenfalls hierin ein Gewässerausbau nach §§ 67, 68 WHG liegen. Anders als im Falle eines untertägigen Beckens bestünden keine Bedenken hinsichtlich einer Erstreckung der Vorschriften zum Gewässerausbau auf Grundwasser. Ein Gewässerausbau wird für obertägige Pumpspeicherwerke denn auch teilweise ausdrücklich bejaht.<sup>253</sup>

Sofern im Einzelfall die Gewässereigenschaft sogar für das oberirdische Speicherbecken selbst (oben 6.3.1) zu bejahen sein sollte, läge ein Gewässerausbau i.S.v. §§ 67, 68 WHG auch insoweit vor. Im Unterschied zu den Ausführungen zu komplett unterirdischen Pumpspeicherwerken entfielen auch insoweit die Bedenken gegen eine Anwendung der Vorschriften auf Grundwassersachverhalte.

Dies hätte jeweils zur Folge, dass nach § 9 Abs. 3 S. 1 WHG solche Maßnahmen, welche dem Gewässerausbau dienen, keine Benutzungen i.S.d. § 9 WHG darstellen (siehe auch oben 2.1.3.6).

---

<sup>253</sup> Breuer (2006), S. 119, 353; Berendes, WHG, § 67 Rn. 5.

## **6.4 Baurecht**

Bei Anlage eines oberirdischen Beckens findet grundsätzlich Baurecht Anwendung. Zunächst ist ein oberirdisches Speicherbecken, ebenso wie ein untertägliches Becken, aus bauordnungsrechtlicher Sicht regelmäßig als bauliche Anlage einzuordnen. Für das Vorliegen einer baulichen Anlage wird vorausgesetzt, dass diese mit dem Erdboden verbunden ist oder auf ihm ruht. Mit dem Erdboden verbunden ist eine Anlage auch, wenn sie ganz oder teilweise in den Erdboden versenkt worden ist. Dies trifft auf oberirdische Speicherbecken jedenfalls dann zu, wenn sie unter Verwendung zusätzlicher Materialien angelegt werden. Zudem werden auch Abgrabungen regelmäßig in den Anwendungsbereich einbezogen. Lediglich bei bloßem Zugriff auf ein fortbestehendes oberirdisches Gewässer wäre dieses (das Oberbecken) nicht als bauliche Anlage i.S. des Bauordnungsrechts anzusehen.

Ähnliches gilt für das Bauplanungsrecht. Aufgrund der Oberflächenbeanspruchung ist die bodenrechtliche Relevanz, anders als bei untertägigen Becken, regelmäßig eindeutig zu bejahen. Die Verwirklichung im Außenbereich unterfällt hierbei der Privilegierung des § 35 Abs. 1 Nr. 5 BauGB. Denn Pumpspeicheranlagen können unter die Vorhaben, die der Nutzung von Wasserenergie dienen, gefasst werden.<sup>254</sup> Lediglich bei bloßem Zugriff auf ein fortbestehendes oberirdisches Gewässer würde Bauplanungsrecht keine Anwendung finden.

## **6.5 Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht**

Sofern hinsichtlich des anfallenden Gesteinsaushubs keine bloße Lagerung, sondern eine endgültige Aufhaldung („Ablagerung“) angestrebt wird, kann eine Deponie vorliegen, für deren Errichtung bzw. Betrieb einer Deponie gemäß § 31 Abs. 2, 3 KrW-/AbfG eine Planfeststellung bzw. Plangenehmigung notwendig ist. Änderungen gegenüber einem komplett untertägigen Pumpspeicherwerk ergeben sich zunächst durch eine Verringerung der Aushubmenge. . Zudem könnten sich ggf. Veränderungen der Beurteilung ergeben, sofern das anfallende Aushubmaterial für die Anlage des oberirdischen Beckens als Baumaterial verwendet werden soll. Wie bereits ausgeführt, wird hierdurch die Abfalleigenschaft aber regelmäßig nicht entfallen, da nur dann, wenn die Wiederverwendung eines Materi-



als bzw. Rohstoffes möglich und ohne vorherige Bearbeitung in Fortsetzung des Gewinnungsverfahrens gewiss ist, von einem (Neben-)Produkt ausgegangen wird (vgl. oben 2.1.1.3.1.2.2 sowie 6.1.1).

## **6.6           Energiewirtschaftsrecht**

Hinsichtlich der notwendigen Netzanbindung ergeben sich keine ersichtlichen Unterschiede im Gegensatz zu einem komplett unterirdischen Pumpspeicherwerk (siehe oben 2.1.6.).

## **6.7           Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung**

Grundsätzlich ergeben sich keine Unterschiede zu komplett untertägigen Pumpspeicherwerken. Lediglich wenn das obere Speicherbecken selbst als oberirdisches Gewässer eingeordnet werden sollte, würde insoweit Nr. 19.9 Anlage 1 UVPG keine Anwendung finden. Vielmehr könnte allenfalls, je nach konkreter Fallgestaltung, Nr. 13.6 Anlage 1 UVPG (Bau eines Stauwerkes oder einer sonstigen Anlage zur Zurückhaltung oder dauerhaften Speicherung von Wasser) anwendbar sein.

Sollte ausnahmsweise die Abfalleigenschaft des Gesteinsaushubs zu verneinen sein, weil dieser ohne vorherige Bearbeitung in Fortsetzung des Gewinnungsverfahrens für den Ausbau der Oberbeckens verwendet wird, so würde auch insoweit eine Umweltverträglichkeitsprüfung (Nr. 8.9 bzw. Nr. 12 Anlage 1 UVPG) entfallen.

## **6.8           Naturschutzrecht**

Im hier betrachteten naturschutzrechtlichen Rahmen wären Änderungen insoweit denkbar, als durch die bei einer Hybridlösung verstärkte Oberflächenbeanspruchung die Wahrscheinlichkeit einer Beeinträchtigung von Schutzgebieten steigt.

---

<sup>254</sup> Rieger in: Schrödter, BauGB, § 35 Rn. 50.

## **6.9 Raumordnungsrecht**

Aus raumordnungsrechtlicher Sicht wächst aufgrund einer größeren Oberflächenbeanspruchung die Wahrscheinlichkeit, dass ein Raumordnungsverfahren durchzuführen ist. Anders als im Falle untertägiger Pumpspeicherbecken ist ein Gewässerausbau i.S.d. § 1 Nr. 7 RoV in aller Regel zu bejahen. Lediglich im Falle des bloßen Zugriffs auf ein fortbestehendes oberirdisches Gewässer könnte diese Vorschrift keine Anwendung finden.

# Literaturverzeichnis

Altrock, Martin / Oschmann, Volker / Theobald, Christian [Hrsg.]  
Erneuerbare-Energien-Gesetz, Kommentar  
2. Auflage, München 2008  
Zitiert: Altrock et al., EEG

Augustin, Georg / Kregel, Wilhelm / Pikart, Heinz  
Das Bürgerliche Gesetzbuch mit besonderer Berücksichtigung der Rechtsprechung des  
Reichsgerichts und des Bundesgerichtshofes, Kommentar  
12. Auflage, Berlin / New York 1979  
Zitiert: BGB-RGRK/Bearbeiter

Battis, Ulrich / Krautzberger, Michael / Löhr, Rolf-Peter  
Baugesetzbuch, Kommentar  
11. Auflage, München 2009

Becker, Bernd  
Das neue Umweltschadensgesetz  
München 2007

Berendes, Konrad  
Wasserhaushaltsgesetz, Kurzkommentar  
Berlin 2010

Bezirksregierung Arnsberg (2011): Vorschläge zur Änderung des Bergrechts 2011, Stand:  
18.2.2011; online im Internet; URL: [http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/e/erdgas\\_rechtlicher\\_rahmen/vorschlag\\_bergrecht.pdf](http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/e/erdgas_rechtlicher_rahmen/vorschlag_bergrecht.pdf)  
[30.5.2011]

Boldt, Gerhard / Weller, Herbert  
Bundesberggesetz, Kommentar  
Hauptband, Berlin 1984  
Ergänzungsband, Berlin, New York 1992

Breuer, Rüdiger [Hrsg.]  
Gewässerausbau, Wasserkraftnutzung und alte Mühlenrecht  
Das Recht der Wasser- und Entsorgungswirtschaft (RdWEWi), Heft 29  
Berlin, Bonn, München 2001  
Zitiert: Breuer/Bearbeiter, RdWEWi 29

Breuer, Rüdiger  
Öffentliches und privates Wasserrecht  
3. Auflage, München 2004  
Zitiert: Breuer (2004)

Breuer, Rüdiger  
Rechtsfragen des Konflikts zwischen Wasserkraftnutzung und Fischfauna  
Berlin 2006  
Zitiert: Breuer (2006)

Bundesnetzagentur (2009): Positionspapier zur Netzanbindungsverpflichtung gemäß § 17 Abs. 2a EnWG (Oktober 2009); online im Internet; URL:  
[http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetGas/Sonderthemen/AnbindungOffshoreWindparks/AnbindungOffshoreWindparks\\_node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetGas/Sonderthemen/AnbindungOffshoreWindparks/AnbindungOffshoreWindparks_node.html) [30.5.2011]

Czychowski, Manfred / Reinhardt, Michael  
Wasserhaushaltsgesetz, Kommentar  
10. Auflage, München 2010

Dietrich, Lars  
Nutzungskonflikte unter Tage  
In: Kühne, Gunther /Ehricke , Ulrich (Hrsg.), Bergrecht zwischen Tradition und Moderne, Baden-Baden 2010, Seite 139 bis 167

Dietrich, Lars / Brück von Oertzen, Martin  
Rechtliche Implikationen der Wiederverstromung von Windenergie in Druckluftspeicherkraftwerken  
In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen (ET) Heft 4/2008, Seite 85 bis 88

Dietrich, Lars / Schäperklaus, Stefan  
Der Raum wird knapp - über die Steuerbarkeit von Nutzungskonflikten unter Tage  
In: Zeitschrift Erdöl, Erdgas und Kohle 2009, Seite 20 bis 26

Erbguth, Wilfried  
Unterirdische Raumordnung – zur raumordnerischen Steuerung intertägiger Vorhaben  
In: Zeitschrift für Umweltrecht (ZUR) 2011, Seite 121 bis 126

Feldhaus, Gerhard  
Bundesimmissionsschutzrecht, Kommentar  
Band 2: Rechtsverordnungen zum BImSchG  
Loseblattausgabe, Stand: 156. Ergänzungslieferung, März 2010  
Zitiert: Feldhaus

Filthaut, Werner  
Haftpflichtgesetz, Kommentar  
8. Auflage, München 2010

Franke, Peter  
Die Einlagerung von CO<sub>2</sub> in unterirdischen geologischen Formationen unter besonderer Berücksichtigung des Bergrechts  
In: Kühne, Gunther /Ehricke , Ulrich (Hrsg.), Bergrecht zwischen Tradition und Moderne, Baden-Baden 2010, Seite 99 bis 137

Frenz, Walter / Müggenborg, Hans-Jürgen  
Erneuerbare-Energien-Gesetz, Kommentar  
Berlin 2010  
Zitiert: Frenz/Müggenborg, EEG

Frenz, Walter / Müggenborg, Hans-Jürgen  
Bundesnaturschutzgesetz, Kommentar  
Berlin 2011  
Zitiert: Frenz/Müggenborg, BNatSchG

Gädtke, Horst / Temme, Heinz-Georg / Heintz, Detlef / Czepuck, Knut  
Bauordnung Nordrhein-Westfalen, Kommentar  
11. Auflage, Köln 2008  
Zitiert: Gädtke et al., BauO NRW

Gelzer, Konrad / Bracher, Christian-Dietrich / Reidt, Olaf  
Bauplanungsrecht  
7. Auflage, Köln 2004

Germer, Christoph / Loibl, Helmut  
Energierrecht, Handbuch  
2. Auflage, Berlin 2007

Große-Suchsdorf, Ulrich  
Niedersächsische Bauordnung, Kommentar  
8. Auflage, München 2007

Hoppe, Werner / Bönker, Christian / Grotefels, Susan  
Öffentliches Baurecht  
4. Auflage, München 2010

Hoppe, Werner  
Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung, Kommentar  
3. Auflage, Köln, Berlin, München 2007

Hornmann, Gerhard  
Hessische Bauordnung, Kommentar  
München 2004

Jäde, Henning / Dirnberger, Franz / Weiß, Josef  
Baugesetzbuch und Baunutzungsverordnung, Kommentar  
5. Auflage, Stuttgart 2007  
Zitiert: Jäde et al., BauGB und BauNVO

Jarass, Hans Dieter  
Die enteignungsrechtliche Vorwirkung bei Planfeststellungen  
In: Deutsches Verwaltungsblatt (DVBl) 2006, Seite 1329 bis 1335

Jauernig, Othmar / Berger, Christian  
Bürgerliches Gesetzbuch, Kommentar  
13. Auflage, München 2009  
Zitiert: Jauernig, BGB

Knack, Hans-Joachim / Henneke, Hans-Günter  
Verwaltungsverfahrensgesetz, Kommentar  
9. Auflage, Köln 2010

Kopp, Ferdinand O. / Ramsauer, Ulrich  
Verwaltungsverfahrensgesetz, Kommentar  
10. Auflage, München 2008

Kremer, Eduard / Neuhaus gen. Wever, Peter U.  
Bergrecht  
Stuttgart, Berlin, Köln 2001

Krohn, Günter / Löwisch, Gottfried  
Eigentumsgarantie, Enteignung, Entschädigung - Handbuch für die Praxis  
3. Auflage, Köln 1984

Kropp, Olaf / Kälberer, Klaus  
Noch Abfall oder schon Produkt? – Zum Ende der Abfalleigenschaft bei der stofflichen  
Verwertung  
In: Zeitschrift für das Recht der Abfallwirtschaft (AbfallR) 2010, Seite 124 bis 131

Kunig, Philip / Paetow, Stefan / Versteyl, Ludger-Anselm  
Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Kommentar  
2. Auflage, München 2003

Landmann, Robert v. / Rohmer, Gustav  
Umweltrecht, Kommentar  
Stand 60. Ergänzungslieferung, München 2011

Peters, Heinz-Joachim / Balla, Stefan  
Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung, Handkommentar  
3. Auflage, Baden-Baden 2006

Piens, Reinhart / Schulte, Hans-Wolfgang / Graf Vitzthum, Stephan  
Bundesberggesetz, Kommentar  
Stuttgart 1983

Reinhardt, Michael  
Die gesetzliche Förderung kleiner Wasserkraftanlagen und der Gewässerschutz  
In: Natur und Recht (NuR) 2006, Seite 205 bis 214

Reshöft, Jan [Hrsg.]  
Erneuerbare-Energien-Gesetz, Kommentar  
3. Auflage, Baden-Baden 2009

Ring, Gerhard

Grundstrukturen des Bergwerkseigentums

In: Zeitschrift für die notarielle Beratungs- und Beurkundungspraxis (NotBZ) 2006, Seite 37 bis 45

Rüsch, Eckart

Ausgleichsleistungen in der praktischen Denkmalpflege I

In: Niedersächsische Verwaltungsblätter (NdsVBl) 2008, Seite 113 bis 115

Säcker, Franz Jürgen [Hrsg.]

Münchener Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch

Band 6, Sachenrecht, §§ 854 – 1296

5. Auflage, München 2009

Zitiert: MK/Bearbeiter

Salje, Peter

Erneuerbare-Energien-Gesetz, Kommentar

5. Auflage, Köln 2009

Schink, Alexander

Der neue Abfallbegriff und seine Folgen

In: Verwaltungsarchiv 88 [1997] (VerwArch), Seite 230 bis 264

Schmaltz, Hans Karsten / Wiechert, Reinald

Niedersächsisches Denkmalschutzgesetz, Kommentar

Hannover 1998

Schneider, Jens-Peter / Theobald, Christian [Hrsg.]

Recht der Energiewirtschaft, Praxishandbuch

2. Auflage, München 2008

Schneller, Christian

Beschleunigter Ausbau des Stromtransportnetzes – Chancen und Defizite des „Infrastrukturbeschleunigungsgesetzes“

In: Deutsches Verwaltungsblatt (DVBl) 2007, Seite 529 bis 537

Schoen, Hendrik

Die Planfeststellung zwischen Kontrollerlaubnis und Planungsentscheidung

Dissertation, Münster 2003

Schröder, Michael

Zur Abfalleigenschaft von Erdaushub und Bauschutt

In: Baden-Württembergische Verwaltungspraxis (BWVP) 1996, Seite 130 bis 134

Schrödter, Hans

Baugesetzbuch

7. Auflage, München 2006



Schulze, Reiner [Hrsg.]  
Bürgerliches Gesetzbuch, Handkommentar  
6. Auflage, Baden-Baden 2009  
Zitiert: HK-BGB

Sieder, Frank / Zeitler, Herbert / Dahme, Heinz / Knopp, Günther-Michael  
Wasserhaushaltsgesetz, Kommentar  
München, Loseblattausgabe, 38. Ergänzungslieferung, Stand: September 2009  
Zitiert: S/Z/D/K, WHG

Simon, Alfons / Busse, Jürgen [Hrsg.]  
Bayerische Bauordnung, Kommentar  
Band 1  
München, Loseblattausgabe, 99. Ergänzungslieferung, Stand: Dezember 2009

Schumacher, Jochen / Fischer-Hüftle, Peter [Hrsg.]  
Bundesnaturschutzgesetz, Kommentar  
2. Auflage, Stuttgart 2011

von Staudinger, Julius / Albrecht, Karl-Dieter / Hager, Johannes  
Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch  
Buch 2: Recht der Schuldverhältnisse, §§ 823 E bis I, 824, 825 (Unerlaubte Handlungen 1 – Teilband 2)  
Berlin 2009  
Zitiert: Staudinger/Bearbeiter, BGB

Stelkens, Paul / Bonk, Heinz-Joachim / Sachs, Michael  
Verwaltungsverfahrensgesetz, Kommentar  
7. Auflage, München 2008  
Zitiert: Stelkens et al., VwVfG

Sustmann, Robert / Robles y Zepf, Carlos  
Die Übertragung unterirdischer Erdgas- und Erdöl-Speicheranlagen (Kavernen) im Wege eines Asset oder Share Deals  
In: Recht der Energiewirtschaft (RdE) 2011, Seite 52 bis 58

Versteyl, Andrea / Prella, Rebecca  
Die Legalisierungswirkung behördlicher Genehmigungen zur Einheit der Rechtsordnung am Beispiel des Umweltrechts – Das neue Umweltschadensgesetz  
Online im Internet; URL:  
[http://investitionsklima.de/20070502\\_Die\\_Legalisierungswirkung\\_behordlicher\\_Genehmigungen.PDF](http://investitionsklima.de/20070502_Die_Legalisierungswirkung_behordlicher_Genehmigungen.PDF) [30.5.2011]

Wagner, Gerhard  
Das neue Umweltschadensgesetz  
In: Zeitschrift für Versicherungsrecht, Haftungs- und Schadensrecht (VersR) 2008, Seite 565 bis 580

Wendrich, Klaus  
Niedersächsisches Straßengesetz, Kommentar  
4. Auflage, Hannover 2000

Westermann, Harm Peter [Hrsg.]  
Erman, Bürgerliches Gesetzbuch, Handkommentar  
Band 2: Bearbeitung der §§ 759 bis 2385  
12. Auflage, Köln 2008  
Zitiert: Erman/Bearbeiter, BGB

Wiechert, Reinald  
Ausgleichsleistungen in der praktischen Denkmalpflege II  
In: Niedersächsische Verwaltungsblätter (NdsVBl) 2008, S. 115 bis 117

Wilde, Marion  
Verhältnis zwischen Bergrecht und Naturschutzrecht  
In: Deutsches Verwaltungsblatt (DVBl) 1998, Seite 1321 bis 1329

Wismut GmbH (2009): Sanierungsfortschritt Wismut – Voraussetzung für die Zukunft der Region - Umweltbericht 2009; online im Internet; URL:  
<http://www.wismut.de/de/downloads/umweltbericht2009.pdf> [30.5. 2011]



*K. Runge, T. Wachter*

## ***Aspekte aus Umweltsicht***



*Foto: EFZN / M. Schmidt*



# **Pumpspeicher unter Tage**

## **Identifikation kritischer Punkte aus Umweltsicht bei der Nachnutzung von Altbergwerken als Pumpspeicher**

**Auftraggeber:**

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

EFZN  
Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen

**Auftragnehmer:**

apl. Prof. Dr. Karsten Runge  
Bellmannstraße 36  
22607 Hamburg  
fon 040/89070622  
info@oecos.com

Bearbeitung:  
apl. Prof. Dr. Karsten Runge  
Dr.-Ing. Thomas Wachter  
M.Sc. Geogr. Stefanie Leder

Hamburg, den 14.4.2011



## 0.1 Inhalt

<b>0.1 Inhalt .....</b>	<b>I</b>
<b>0.2 Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>0.3 Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>0.4 Abkürzungsverzeichnis / Glossar .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>645</b>
1.1 Aufgabenstellung .....	645
1.2 Allgemeines zur Umweltfolgenabschätzung von PSW .....	645
1.3 Vorhabensbeschreibung eines untertägigen Pumpspeicherkraftwerks.....	647
<b>2 Potenzielle Umweltwirkungen allgemein .....</b>	<b>648</b>
2.1 Einleitung.....	648
2.2 Flächenbezogene Restriktionen allgemein .....	648
2.2.1 Ziele der Raumordnung und Regionalplanung .....	648
2.2.2 Naturschutzgebiete (§ 23 BNatSchG 2010).....	649
2.2.3 Nationalparke (§ 24 Abs. 1-3 BNatSchG 2010) .....	649
2.2.4 Nationale Naturmonumente (§ 24 Abs. 4BNatSchG 2010) .....	649
2.2.5 Biosphärenreservate (§ 25 BNatSchG 2010) .....	650
2.2.6 Landschaftsschutzgebiete (§ 26 BNatSchG 2010).....	650
2.2.7 Naturparke (§ 27 BNatSchG 2010).....	650
2.2.8 Geschützte Landschaftsbestandteile (§ 29 BNatSchG 2010) .....	650
2.2.9 Gesetzlich geschützte Biotope (§30 BNatSchG 2010).....	651
2.2.10 Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung (§ 32 BNatSchG 2010) .....	651
2.2.11 Europäische Vogelschutzgebiete (§ 32 BNatSchG 2010) .....	651
2.2.12 Naturdenkmale (§ 28 BNatSchG 2010).....	652
2.2.13 Flächen des Biotopverbundes (§ 21 BNatSchG 2010).....	652
2.2.14 Wasserschutzgebiete (§§ 51, 52 WHG) .....	652
2.2.15 Schutzwald (§ 12 BWaldG) .....	653
2.2.16 Erholungswald (§ 13 BWaldG).....	653
2.2.17 Bodenschutzgebiete (§ 21 Abs. 3 BBodSchG).....	654
2.2.18 Verdachtsflächen, Altlasten, altlastenverdächtige Flächen nach § 2 BBodSchG .....	654
2.3 Schutzgutbezogene Restriktionen allgemein .....	655
2.3.1 Potenzielle Auswirkungen auf den Menschen, einschließlich menschlicher Gesundheit .....	655
2.3.2 Potenzielle Auswirkungen auf Tiere, insbesondere Fledermäuse .....	655
2.3.3 Potenzielle Auswirkungen auf Pflanzen .....	657
2.3.4 Potenzielle Auswirkungen auf den Boden .....	658
2.3.5 Potenzielle Auswirkungen auf Oberflächengewässer .....	660
2.3.6 Potenzielle Auswirkungen auf das Grundwasser .....	670
2.3.7 Potenzielle Auswirkungen auf Klima und Luft .....	672
2.3.8 Potenzielle Auswirkungen auf die Landschaft.....	672

2.3.9	Potenzielle Auswirkungen auf Kultur- und sonstige Sachgüter.....	675
<b>3</b>	<b>Umweltauswirkungen am Modellbergwerk Bad Grund.....</b>	<b>676</b>
3.1	Einleitung.....	676
3.2	Vorhabensbeschreibung .....	678
3.3	Flächenbezogene Restriktionen (Bad Grund) .....	680
3.3.1	Ziele der Raumordnung und Regionalplanung .....	680
3.3.2	Landschaftsschutzgebiete (§ 26 BNatSchG 2010).....	682
3.3.3	Geschützte Landschaftsbestandteile (§ 29 BNatSchG 2010) .....	683
3.3.4	Gesetzlich geschützte Biotope (§30 BNatSchG 2010).....	683
3.3.5	Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung (§ 32 BNatSchG 2010) .....	683
3.3.6	Europäische Vogelschutzgebiete (§ 32 BNatSchG 2010) .....	684
3.3.7	Naturdenkmale (§ 28 BNatSchG 2010).....	685
3.3.8	Flächen des Biotopverbundes (§ 21 BNatSchG 2010).....	685
3.3.9	Wasserschutzgebiete (§§ 51, 52 WHG) .....	686
3.3.10	Forstliche Schutzgebiete .....	687
3.3.11	Bodenschutzgebiete (§ 21 Abs. 3 BBodSchG).....	688
3.3.12	Verdachtsflächen, Altlasten, altlastenverdächtige Flächen nach § 2 BBodSchG .....	688
3.4	Schutzgutbezogene Restriktionen (Bad Grund).....	688
3.4.1	Potenzielle Auswirkungen auf den Menschen, einschließlich menschlicher Gesundheit .....	688
3.4.2	Potenzielle Auswirkungen auf Tiere, insbesondere Fledermäuse .....	689
3.4.3	Potenzielle Auswirkungen auf Pflanzen .....	689
3.4.4	Potenzielle Auswirkungen auf den Boden .....	692
3.4.5	Potenzielle Auswirkungen auf Oberflächengewässer .....	697
3.4.6	Potenzielle Auswirkungen auf das Grundwasser .....	703
3.4.7	Potenzielle Auswirkungen auf Klima und Luft .....	703
3.4.8	Potenzielle Auswirkungen auf die Landschaft.....	703
3.4.9	Potenzielle Auswirkungen auf Kultur- und sonstige Sachgüter.....	704
<b>4</b>	<b>Umweltauswirkungen am Modellbergwerk Pöhla .....</b>	<b>705</b>
4.1	Einleitung.....	705
4.1.1	Vorhabensbeschreibung.....	707
4.2	Flächenbezogene Restriktionen (Pöhla).....	708
4.2.1	Ziele der Raumordnung und Regionalplanung .....	708
4.2.2	Naturschutzgebiete (§ 23 BNatSchG 2010).....	710
4.2.3	Landschaftsschutzgebiete (§ 26 BNatSchG 2010).....	711
4.2.4	Naturparke (§ 27 BNatSchG 2010) .....	711
4.2.5	Europäische Vogelschutzgebiete (§ 32 BNatSchG 2010) .....	712
4.2.6	Naturdenkmale (§ 28 BNatSchG 2010).....	713
4.2.7	Flächen des Biotopverbundes (§ 21 BNatSchG 2010).....	714
4.2.8	Schutzgebiete der Wasserwirtschaft .....	714
4.2.9	Forstliche Schutzgebiete .....	715
4.2.10	Verdachtsflächen, Altlasten, altlastenverdächtige Flächen .....	716
4.3	Schutzgutbezogene Restriktionen (Pöhla) .....	716

4.3.1	Potenzielle Auswirkungen auf den Menschen, einschließlich menschlicher Gesundheit .....	716
4.3.2	Potenzielle Auswirkungen auf Tiere, insbesondere Fledermäuse .....	718
4.3.3	Potenzielle Auswirkungen auf Pflanzen .....	719
4.3.4	Potenzielle Auswirkungen auf den Boden .....	720
4.3.5	Potenzielle Auswirkungen auf Oberflächengewässer .....	722
4.3.6	Potenzielle Auswirkungen auf das Grundwasser .....	727
4.3.7	Potenzielle Auswirkungen auf Klima und Luft .....	728
4.3.8	Potenzielle Auswirkungen auf die Landschaft.....	728
4.3.9	Potenzielle Auswirkungen auf Kultur- und sonstige Sachgüter.....	729
<b>5</b>	<b>Zusammenfassende Ersteinschätzung.....</b>	<b>729</b>
5.1.1	Flächenbezogene Restriktionen.....	729
5.1.2	Schutzgutbezogene Restriktionen .....	730
5.1.3	Empfehlungen .....	732
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>736</b>



## 0.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Komponenten der Umweltfolgenprüfung von PSW .....	646
Abbildung 2: Prinzipbild Pumpspeicherkraftwerk unter Tage (EFZN – MS 2009) .....	647
Abbildung 3: Lebenszyklus von Fledermäusen (ALBRECHT 2008, S. 9) .....	656
Abbildung 4: Bestandsentwicklung überwinternder Fledermäuse im Winterquartier XY (Koordinationsstelle für Fledermausschutz in Nordbayern, Dezember 2008).....	657
Abbildung 5: Zeitplan der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (NLWKN 2009b) .....	661
Abbildung 6: Schematische Darstellung von in Großbritannien erprobten passiven Wasserreinigungssystemen (aus Younger 2000) .....	669
Abbildung 7: Schema einer reaktiven Wand für saures, metallionenreiches Grundwasser (a) und eines geschlossenen Karbonatlösungssystems für alkalische, zinkreiche Grubenwässer (b) (aus Wolkersdorfer und Younger 2002) .....	669
Abbildung 8: Koepchenwerk (Herdecke/NRW).....	673
Abbildung 9: Rohrleitung Pumpspeicherwerk in Wendefurth (Sachsen-Anhalt/Harz) ..	674
Abbildung 10: Pumpspeicherwerk in Geesthacht.....	674
Abbildung 11: Untertägiges Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal (Thüringen).....	675
Abbildung 12: Industriedenkmal; Fördermaschinenhaus mit Hauptschacht (Erzbergwerk Grund) .....	676
Abbildung 13: Bergwerksgelände Bad Grund (BARTHELS 1992) .....	677
Abbildung 14: Stollen des Erzbergwerks Grund (BARTHELS 1992) .....	678
Abbildung 15: Werksgelände Wiemannsbuchter Schacht Bad Grund (Google Earth)....	679
Abbildung 16: Bebauungsplangebiet 13 Gottes Hilfe Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2009) .....	680
Abbildung 17: Festsetzungen des Regionalen Raumordnungsplans für Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2010) .....	681
Abbildung 18: Landschaftsschutzgebiet Harz um den Wiemannsbuchter Schacht (Geoportal Landkreis Osterode 2009) .....	682
Abbildung 19: Borstgrasrasen (hellgrün) in Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2010) .....	684
Abbildung 20: FFH-Gebiete in der Umgebung von Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2010) .....	685
Abbildung 21: Naturdenkmale OHA 51, 52 und 26 (Geoportal Landkreis Osterode 2009) .....	686
Abbildung 22: Wasserschutzgebiete in der Umgebung von Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2010).....	687
Abbildung 23: Boden-Schwermetallkonzentrationen niedersächsischer Boden- Dauerbeobachtungsflächen, bezogen auf die Vorsorgewerte nach BBodSchV Quelle: <a href="http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C24085523_N23049650_L20_D0_I598.ht">http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C24085523_N23049650_L20_D0_I598.ht</a> ml.....	694

Abbildung 24: Teilgebiete des Bodenplanungsgebiets Harz im LK Goslar (Umweltamt Landkreis Goslar 17.10.2005) .....	695
Abbildung 25: Luftbild des Werksgeländes Pöhla (GoogleEarthPro 2011) .....	706
Abbildung 26: Vorhandene Gruben Hohlräume am Modellbergwerk Pöhla (Gorczyk, TU-Clausthal, 21.01.2011) .....	707
Abbildung 27: Prinzipbild des Modellbergwerks Pöhla (Jarrah, IBB, 04.03.2011) .....	708
Abbildung 28: Sanierungsbedürftige Bereiche der Landschaft (Regionalplan Südwestsachsen) .....	709
Abbildung 29: Festsetzung der Regionalpläne Südwestsachsen und Chemnitz-Erzgebirge (Regionalplan Südwestsachsen (2008) und Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge (2008)).	709
Abbildung 30: Karte der Stollen und Schutzgebiete (eigene Darstellung, Daten der Stollen: Gorczyk, TU-Clausthal) .....	711
Abbildung 31: LSG Planungsgebiet Hundsmarter (Regionaler Planungsverband Südwestsachsen (2008) Karte A 1-4) .....	712
Abbildung 32: Anzahl erfasster Fledermausarten (Chiroptera) je MTB ab 1990 (HAUER et al. 2009). Die ovale Markierung zeigt in etwa das zur Untersuchung herangezogene Gebiet. ....	718
Abbildung 33: Arsengehalte (SLfUG 2000) a) in der organischen Auflage b) im mineralischen Oberboden c) im Unterboden .....	721
Abbildung 34: Blei-Belastungen (SLfUG 2000) a) in der organischen Auflage b) im mineralischen Oberboden c) im Unterboden .....	721
Abbildung 35: pH-Werte (SLfUG 2000) a) in der organischen Auflage b) im mineralischen Oberboden c) im Unterboden .....	722
Abbildung 36: Chemischer Zustand der Oberflächenwasserkörper nach national geltendem Recht (EG-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG).....	723
Abbildung 37: Lage und Grenzen des Grundwasserkörpers ZM 1-3 (SLfUG 2009).....	727

### 0.3 Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1: Umweltqualitätsnormen für die Einstufung des chemischen Zustands nach der Niedersächsischen Verordnung zum wasserrechtlichen Ordnungsrahmen .....	663
Tabelle 2: Übersicht über Qualitätsanforderungen der LAWA, der internationalen Flussgebietsgemeinschaften und der EG für Schwermetalle (UBA 2010).....	664
Tabelle 3: Schwellenwerte anorganische Parameter (Anlage 2, GrwV vom 09.11.2010) .	671
Tabelle 4: Fledermausarten, die im Landkreis Osterode am Harz Bergwerke als Quartiere nutzen können .....	690
Tabelle 5: Messwerte der auf dem Werksgelände Bad Grund entnommenen Proben (Walcher 1996, gekürzt) .....	692
Tabelle 6: Prüfwerte der BBodSchV - Anhang 2, 1.3 .....	693
Tabelle 7: Maßnahmenregelung der Teilgebiete des Bodenplanungsgebiets Harz (LK Goslar) .....	696
Tabelle 8: Zink-Messwerte in Bezug auf das Bergwerk Grund .....	701
Tabelle 9: Artverhalten der registrierten Fledermäuse.....	719
Tabelle 10: Gewässerbelastungen mit Schwermetallen und Uran .....	723
Tabelle 11: Gewässerbelastungen am Standort Pöhla (Kunzmann, 01.03.2011). (Ausschnitt, farbliche Hervorhebungen hinzugefügt) .....	725
Tabelle 12: Ein- und Auslaufkonzentrationen der Wasserbehandlungsanlage am Standort Pöhla (aus Wolkersdorfer 2002) .....	727
Tabelle 13: Schwellenwerte der Grundwasserbelastungen nach GrwV Anlage 2 und WRRL Anlage II.....	728
Tabelle 14: Ersteinschätzung zu flächenbezogenen Restriktionen an Standorten für Pumpspeicherkraftwerke unter Tage (inkl. Modellstandorte) .....	734
Tabelle 15: Ersteinschätzung zu schutzgutbezogenen Restriktionen an Standorten für Pumpspeicherkraftwerke unter Tage (inkl. Modellstandorte) .....	735

## 0.4 Abkürzungsverzeichnis / Glossar

---

AbwV	Abwasserverordnung
AGA	Allgemeine Güteanforderungen für Fließgewässer
As	Arsen
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BayWaldG	Waldgesetz für Bayern
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BPG-VO	Verordnung des Bodenplanungsgebietes Harz im Landkreis Goslar
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
BWaldG	Bundeswaldgesetz
BWaldG	Bundeswaldgesetz
Cd	Cadmium
Cu	Kupfer
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FIS AlBo	Altlasten und schädliche Bodenveränderungen
GWRL	Grundwasserrichtlinie 2006/118/EG
IBB	Institut für Bergbau, Clausthal
IKSE	Internationale Kommission zum Schutz der Elbe
LFU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LSG	Landschaftsschutzgebiet
MTB	Messtischblatt / Kartenblatt 1:25.000
NBodSchG	Niedersächsisches Bodenschutzgesetz
Nds.GVBl	Niedersächsische Verordnung zum wasserrechtlichen Ordnungsrahmen
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz
NSG	Naturschutzgebiet
NWaldLG	Niedersächsisches Waldgesetz
Pb	Blei
PSW	Pumpspeicherkraftwerk
PSWuT	Pumpspeicherkraftwerk unter Tage
QN	Qualitätsnorm
ROG	Raumordnungsgesetz
RROG	Regionales Raumordnungsprogramm
SächNatSchG	Sächsisches Naturschutzgesetz
SächsABG	Sächsisches Abfallwirtschaft- und Bodenschutzgesetz

SächsBO	Sächsische Bauordnung
SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
SächsWRRLVO	Sächsische Wasserrahmenrichtlinienverordnung
SLfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
SPA	Special-Protection-Area (EU-Vogelschutzgebiet)
UBA	Umweltbundesamt
UQN	Umweltqualitätsnormen
UVPG	UVP-Gesetz
VSchRL	Vogelschutzrichtlinie
WBA	Wasserbehandlungsanlage
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
Zn	Zink

# 1 Einleitung

## 1.1 Aufgabenstellung

Im Forschungsvorhaben „Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke“ geht es darum, die Potenziale stillgelegter Gruben und Abbaue für eine Nachnutzung zu untersuchen. Die Zielvorstellung dabei ist, dass untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSW) zum Ausgleich der zwischen Windenergieeinspeisung und -abnahme bestehenden Varianzen einen Beitrag leisten könnten, so dass Windenergie nachfragegerechter und netzverträglicher in das elektrische Energieversorgungssystem eingespeist werden könnte.

Aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes sind bei Bau, Anlage und Betrieb eines unterirdischen Pumpspeicherkraftwerks Umweltkonflikte möglich, die dem Vorhaben entgegenstehen. Der Grad der Unverträglichkeiten hängt von der technischen Ausführung des PSW, dem konkreten Standort und den betroffenen Schutzgütern ab.

Um mögliche Unverträglichkeiten frühzeitig zu erkennen und bei der Standortsuche eine Entscheidungshilfe zu liefern, werden im Folgenden Aspekte diskutiert, die einen Ausschluss für die Errichtung eines PSW begründen (knock out-Kriterium) oder die Zulassung deutlich erschweren können (Restriktionskriterium).

Als Modellprojekt dient das ehemalige Erzbergwerk Grund im Harz. An diesem Beispiel wird veranschaulicht, welche Auswirkungen für die Schutzgüter des Natur- und Umweltschutzes nachteilig sein können. Darüber hinaus wird für untertägige PSW allgemein beurteilt, welches die zentralen Umweltkonflikte sind, die einer Vorhabengenehmigung im Wege stehen können.

## 1.2 Allgemeines zur Umweltfolgenabschätzung von PSW

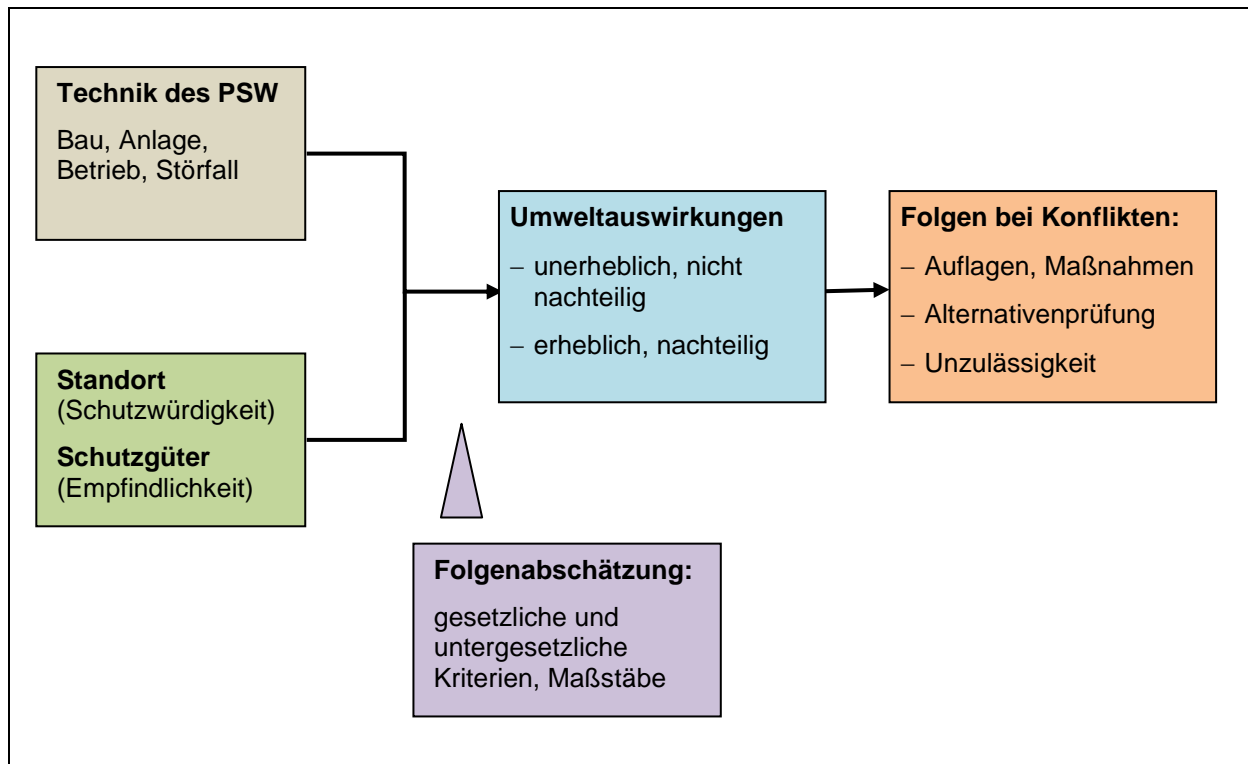
Der Bau und Betrieb eines untertägigen Pumpspeicherkraftwerks (PSW) kann mit Umweltkonflikten verknüpft sein, die eine Realisierung erschweren oder das Projekt verunmöglichen. Die Identifikation möglicher Umweltkonflikte erfolgt im Allgemeinen durch Umweltverträglichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Raumordnungs- und/oder Genehmigungsverfahren. Die Abbildung 1 stellt eine solche Prüfung schematisch dar. In dieser Studie geht es zunächst um eine vorgelagerte und überschlägige Erörterung möglicher Umweltrestriktionen, konkretisiert an 2 Modellstandorten. Weitergehende, auf Vor-Ort-Untersuchungen gestützte Umweltprüfungen im Rahmen von Raumordnungs- und/oder Genehmigungsverfahren können damit weder vorweggenommen noch ersetzt werden.

Allgemein hängen die Art und Schwere der Umweltauswirkungen und damit auch mögliche Konflikte mit Schutzgütern von folgenden Bereichen ab:

- Technik des PSW
- Standort und Schutzgüter der Umwelt
- Kriterien und Maßstäbe der Folgenabschätzung

Die technische Ausführung eines PSW entscheidet darüber, welche Wirkfaktoren vom Vorhaben ausgehen und auf die Umwelt einwirken. Die Wirkfaktoren werden im

Allgemeinen danach unterschieden, ob sie durch den Bau, die Anlage, den Betrieb oder einen Störfall eines PSW ausgelöst werden, d.h. u.a. ob sie temporär oder dauerhaft hinzunehmen sind. Um bestimmte Auswirkungen zu vermeiden oder zu vermindern, können technische Varianten und Anpassungen vorgenommen werden. Die Schutzwürdigkeit des Standortes bzw. die Empfindlichkeit der betroffenen Schutzgüter gegenüber den Projekteinwirkungen ist ein ebenso wichtiger Faktor für die Bedeutung von Umweltwirkungen. Je empfindlicher oder schutzwürdiger die Umwelt ist, desto schwerwiegender und restriktiver sind die zu erwartenden Konflikte und Konsequenzen.



**Abbildung 1:** Komponenten der Umweltfolgenprüfung von PSW

Wenn erhebliche Umweltkonflikte durch ein Projekt erwartet werden, ist dieses Projekt im Ergebnis eines förmlichen Verfahrens nicht unmittelbar unzulässig. Im Rahmen der FFH-Verträglichkeitsprüfung bspw. ist eine ausnahmsweise Zulassung möglich, soweit das Projekt aus zwingenden Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses, einschließlich solcher sozialer oder wirtschaftlicher Art, notwendig ist und zumutbare Alternativen, den mit dem Projekt verfolgten Zweck an anderer Stelle ohne oder mit geringeren Beeinträchtigungen zu erreichen, nicht gegeben sind (§ 34 Abs. 3 BNatSchG 2010). Falls jedoch eine Alternative mit geringeren Beeinträchtigungen gegeben ist, müsste ein PSW bspw. an dem anderen Standort errichtet werden.

In der Regel liegen bei der Planung von Großprojekten nach sorgfältiger Prüfung stets gewisse Umweltrestriktionen vor. Wenn die Realisierung des Projektes nicht grundsätzlich in Frage gestellt ist, mag je nach Zulassungsverfahren und Prüfinstrument jedoch eine Zulassung unter bestimmten Voraussetzungen möglich sein. Die Auflagen können je nach Problemstellung sowohl technischer Art sein oder auch landschaftspflegerische bzw. umweltschutzrelevante Maßnahmen umfassen.



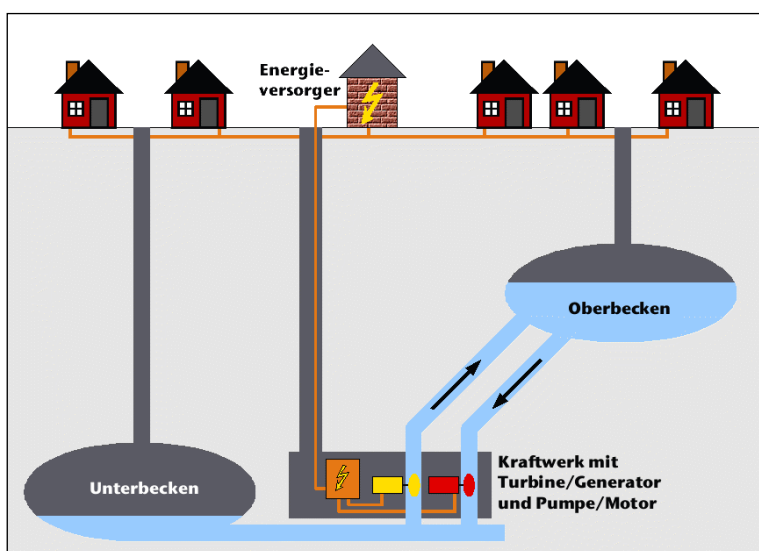
Gleiche Projekte können an unterschiedlichen Standorten unterschiedliche Folgen auslösen. An einem gering empfindlichen Standort kann ein Projekt zulässig sein, welches an einem hoch empfindlichen Standort zu schwerwiegenden Konflikten führen kann. Aus diesem Grund kann die Bedeutung möglicher Umweltauswirkungen erst abgeleitet und die Verträglichkeit erst zuverlässig ermittelt werden, wenn die konkreten Merkmale des jeweiligen Standorts bekannt sind. Wenn daher in dieser Untersuchung die Begriffe „Ausschluss- und Restriktionskriterien“ verwendet werden, dann immer vor dem Hintergrund, dass dasselbe Kriterium an einem Standort einen Ausschluss und an einem anderen Standort eine Restriktion oder Eignung bedeuten kann.

### 1.3 Vorhabensbeschreibung eines untertägigen Pumpspeicherkraftwerks

Untertägige PSW führen im unterschiedlichen Ausmaß zu Eingriffen in Natur und Landschaft und weisen dadurch zwangsläufig Konflikte mit dem Natur- und Umweltschutz auf. Die Konflikte hängen zum einen von dem Standort des Bergwerkes ab und zum anderen von den Vorhabenbestandteilen und der Betriebsweise. Die folgende Abbildung veranschaulicht die zentralen Komponenten eines PSW, wie sie unserer Teilstudie zugrunde liegen.

Als unterirdische Bestandteile beherbergen Ober- und Unterbecken mit dem Schacht den Wasserkreislauf. Das Kraftwerk weist eine Pumpe mit Motor auf, um das Wasser vom Unter- in das Oberbecken in Zeiten geringen Strombedarfs zu befördern. Falls Strom benötigt wird, erzeugt die Turbine mit dem Generator Elektrizität.

Oberirdisch befinden sich die Fördermaschine zur Befahrung des Kraftwerks, das Kontrollgebäude für die Becken, die Schaltwarte mit dem Transformator, die Hochspannungsanlage, die Freileitungen sowie die Zufahrtswege.



**Abbildung 2:** Prinzipbild Pumpspeicherkraftwerk unter Tage (EFZN – MS 2009)

## **2 Potenzielle Umweltwirkungen allgemein**

### **2.1 Einleitung**

Um die Zulässigkeit eines PSW an einem Standort abzuschätzen, lassen sich flächenbezogene und schutzgutspezifische Restriktionen unterscheiden. Erstere können aufgrund vorhandener Daten und Kartenwerke (z.B. Schutzgebietsgrenzen) relativ zielsicher beurteilt werden, während für letztere in der Regel spezifische Kartierungen und vor-Ort-Analysen notwendig sind. Unsere überschlägige Umweltfolgenprüfung zu Bau und Betrieb eines PSW beginnt daher mit der vordringlichen Frage, ob flächenbezogene Ausweisungen und Festlegungen dem Projekt ggf. entgegenstehen.

In einem zweiten Schritt werden die relevanten Schutzgüter des Umweltrechts in Bezug auf ihre möglicherweise zu erwartenden Konflikte mit einem PSW beurteilt.

### **2.2 Flächenbezogene Restriktionen allgemein**

#### **2.2.1 Ziele der Raumordnung und Regionalplanung**

Nach § 8 Raumordnungsgesetz (ROG) sollen Raumordnungspläne auch Festlegungen zu raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen enthalten. Festlegungen zu bestimmten Funktionen und Nutzungen können in Gestalt von Vorrang-, Vorbehalts- und Eignungsgebieten erfolgen.

Vorranggebiete haben Zielcharakter und zeichnen sich dadurch aus, dass sie für bestimmte raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen vorgesehen sind und andere raumbedeutsame Nutzungen in diesem Gebiet ausschließen, soweit diese mit den vorrangigen Funktionen oder Nutzungen nicht vereinbar sind. In Regionalplänen finden sich insbesondere Vorranggebiete für Natur und Landschaft, für den Hochwasserschutz, für den Grundwasserschutz, für die Forstwirtschaft und für die Landwirtschaft. Befindet sich ein stillgelegtes Bergwerk in einem Vorranggebiet, etwa für Natur und Landschaft, dann kann aufgrund des Ausschlusscharakters der Gebietskategorie dort kein PSW errichtet werden (Ausschluss).

In Eignungsgebieten stehen bestimmte raumbedeutsame Maßnahmen oder Nutzungen, die städtebaulich nach § 35 des Baugesetzbuchs (BauGB) zu beurteilen sind, anderen raumbedeutsamen Belangen nicht entgegen, wobei diese Maßnahmen oder Nutzungen an anderer Stelle im Planungsraum ausgeschlossen sind. In einem Eignungsgebiet dürfte die Errichtung eines PSW im Allgemeinen nicht ausgeschlossen sein, da oberirdische Nutzungen oder Funktionen dadurch im Allgemeinen nicht behindert werden.

In Vorbehaltsgebieten ist bestimmten raumbedeutsamen Funktionen oder Nutzungen bei der Abwägung mit konkurrierenden raumbedeutsamen Nutzungen ein besonderes Gewicht beizumessen. Vorbehaltsgebiete haben Grundsatzcharakter und sind daher kein grundsätzlicher Restriktionsfaktor für PSW.

### **2.2.2 Naturschutzgebiete (§ 23 BNatSchG 2010)**

Naturschutzgebiete (NSG) sind rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft in ihrer Ganzheit oder in einzelnen Teilen erforderlich ist. Sie dienen zumeist aus wissenschaftlichen, naturgeschichtlichen oder landeskundlichen Gründen der Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung von Lebensstätten, Biotopen oder Lebensgemeinschaften bestimmter wild lebender Tier- und Pflanzenarten.

Im Vergleich mit den anderen Schutzgebietskategorien des BNatSchG 2010 handelt es sich bei Naturschutzgebieten um einen strengen Schutzstatus. Verboten ist danach jede Veränderung im Sinne einer erheblichen Abweichung von dem zum Zeitpunkt der Unterschutzstellung bestehenden Zustand. Als unzulässige Veränderung ist jede Abweichung vom physischen oder ästhetischen Erscheinungsbild zu werten, die das NSG zum Zeitpunkt seiner Unterschutzstellung bietet. Darunter fällt auch die Errichtung von baulichen Anlagen jeder Art (GASSNER et al. 2003, § 23 Rdnr. 25).

Ein PSW, das in einem NSG betrieben werden soll, dürfte in der Regel den Zielen der Schutzausweisung widersprechen und somit unzulässig sein (Ausschluss).

### **2.2.3 Nationalparke (§ 24 Abs. 1-3 BNatSchG 2010)**

Nationalparke sind Gebiete, die großräumig, weitgehend unzerschnitten und von besonderer Eigenart sind, in einem überwiegenden Teil ihres Gebiets die Voraussetzungen eines Naturschutzgebiets erfüllen und sich in einem überwiegenden Teil ihres Gebiets in einem vom Menschen nicht oder wenig beeinflussten Zustand befinden (§ 24 Abs. 1). Die primäre Zielsetzung von Nationalparks besteht darin, in einem überwiegenden Teil des Gebiets den möglichst ungestörten Ablauf der Naturvorgänge in ihrer natürlichen Dynamik zu gewährleisten (GASSNER et al. 2003, § 24 Rdnr. 9).

Vor dem Hintergrund ihrer Großräumigkeit besteht die Möglichkeit, Zonen mit unterschiedlicher Schutzintensität einzurichten. Die entsprechenden Schutzmaßnahmen sind in der Schutzgebietsausweisung festzulegen.

Die Errichtung von PSW widerspricht im Regelfall der Schutzgebietsverordnung eines Nationalparks und ist daher unzulässig (Ausschluss). Ausnahmsweise kann eine Zulässigkeit gegeben sein, wenn sich der Standort des geplanten PSW in einer Zone mit geringer Schutzintensität befindet, wenn kein neues Wegenetz errichtet werden muss und wenn maßgeblich auf vorhandener Infrastruktur aufgebaut werden kann (hohe Restriktion).

### **2.2.4 Nationale Naturmonumente (§ 24 Abs. 4 BNatSchG 2010)**

Nationale Naturmonumente sind rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, die aus wissenschaftlichen, naturgeschichtlichen, kulturhistorischen oder landeskundlichen Gründen und wegen ihrer Seltenheit, Eigenart oder Schönheit von herausragender Bedeutung sind. Das Naturmonument ordnet sich zwischen Naturdenkmälern und Naturschutzgebieten ein.

Nationale Naturmonumente sind wie Naturschutzgebiete zu schützen. Aufgrund ihrer Kleinteiligkeit und ihres hohen Schutzstatus begründen nationale Naturmonumente einen Ausschluss geplanter PSW.

### **2.2.5 Biosphärenreservate (§ 25 BNatSchG 2010)**

Biosphärenreservate, die sich durch großräumige Landschaftstypen auszeichnen, dienen vornehmlich der Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung einer durch hergebrachte vielfältige Nutzung geprägten Landschaft und der darin historisch gewachsenen Arten- und Biotopvielfalt sowie der Entwicklung und Erprobung von die Naturgüter besonders schonenden Wirtschaftsweisen. Da Biosphärenreservate den menschlichen Einfluss im Hinblick auf nachhaltige Wirtschaftsweisen einbeziehen, sind sie in der Regel in Kernzonen, Pflegezonen und Entwicklungszonen unterschieden.

Da die Kernzonen eines Biosphärenreservats als Naturschutzgebiete geschützt sind, liegen dort dieselben strengen Ausschlussgründe gegenüber einem PSW vor (Ausschluss).

Die Pflege- und Entwicklungszonen sind hingegen als Landschaftsschutzgebiete geschützt und ermöglichen die Errichtung und den Betrieb eines PSW in Abhängigkeit von den jeweiligen Verordnungen (hohe und mittlere Restriktion).

### **2.2.6 Landschaftsschutzgebiete (§ 26 BNatSchG 2010)**

Landschaftsschutzgebiete (LSG) sind rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft erforderlich ist zur Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts, zum Schutz des Landschaftsbildes oder aus besonderen Gründen der Erholung.

Im Gegensatz zu Naturschutzgebieten besteht bei Landschaftsschutzgebieten ein relatives Veränderungsverbot: Veränderungen der Grundstücksnutzung sind dann möglich, wenn der Charakter des Gebiets nicht verändert wird und der Schutzzweck gewahrt bleibt.

Falls eine bestimmte Nutzung, wie ein PSW, unter einen Erlaubnisvorbehalt gestellt ist, kann die Einzelfallüberprüfung durchaus zur Zulassung des Vorhabens führen (mittlere Restriktion).

### **2.2.7 Naturparke (§ 27 BNatSchG 2010)**

Vergleichbar mit Nationalparks und Biosphärenreservaten sind Naturparke großräumige Gebiete, die sich wegen ihrer landschaftlichen Voraussetzungen besonders für die Erholung sowie einem nachhaltigen Tourismus eignen. Dabei wird auch angestrebt, durch Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung einer durch vielfältige Nutzung geprägten Landschaft mit ihrer Arten- und Biotopvielfalt eine dauerhaft umweltgerechte Landnutzung zu entwickeln und eine nachhaltige Regionalentwicklung zu fördern. Naturparke sind überwiegend als Landschaftsschutzgebiete oder Naturschutzgebiete ausgewiesen.

Falls ein PSW im Bereich eines Naturschutzgebiets geplant wird, ist der Betrieb in der Regel unzulässig (Ausschluss). Handelt es sich hingegen um ein Landschaftsschutzgebiet, kann das Vorhaben in Abhängigkeit von der konkreten Verordnung genehmigungsfähig sein (mittlere Restriktion).

### **2.2.8 Geschützte Landschaftsbestandteile (§ 29 BNatSchG 2010)**

Während Naturdenkmale aus wissenschaftlichen, naturgeschichtlichen oder landeskundlichen Gründen oder wegen ihrer Seltenheit, Eigenart oder Schönheit geschützt

werden, geschieht dies bei geschützten Landschaftsbestandteilen im Hinblick auf die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts, im Hinblick auf das Orts- oder Landschaftsbild, zur Abwehr schädlicher Einwirkungen oder zum Erhalt von Lebensstätten bestimmter wild lebender Tier- und Pflanzenarten. Beispiele für geschützte Landschaftsbestandteile sind Alleen, einseitige Baumreihen, Einzelbäume oder Hecken.

Da alle Handlungen verboten sind, die zur Zerstörung, Beschädigung oder Veränderung eines geschützten Landschaftsbestandteils führen, ist an dessen Standort auch der Bau und Betrieb eines PSW nicht zulässig (Ausschluss).

### **2.2.9 Gesetzlich geschützte Biotope (§30 BNatSchG 2010)**

Teile von Natur und Landschaft, die eine besondere Bedeutung als Biotope haben, werden gegenüber allen Handlungen gesetzlich geschützt, die zu einer Zerstörung oder einer sonstigen erheblichen Beeinträchtigung führen können. Beispiele hierfür sind natürliche oder naturnahe Bereiche fließender und stehender Binnengewässer, Altarme, Moore, Sümpfe, Röhrichte, Quellbereiche, offene Binnendünen, Wacholderheiden, Trockenrasen, Schwermetallrasen oder Wälder und Gebüsche trockenwarmer Standorte.

Die Restriktionen gegenüber geplanten Vorhaben sind bei gesetzlich geschützten Biotopen insofern eingeschränkt, als auf Antrag eine Ausnahme von den Verboten zugelassen werden kann, wenn die Beeinträchtigung ausgleichbar ist (hohe Restriktion).

### **2.2.10 Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung (§ 32 BNatSchG 2010)**

Die Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung, die nach den Vorgaben der FFH-Richtlinie von der Europäischen Kommission als schutzwürdig ausgewählt wurden, müssen vom Gesetzgeber innerhalb von 6 Jahren zu geschützten Teilen von Natur und Landschaft ausgewählt werden. Nach § 20 BNatSchG 2010 gehören dazu die Kategorien Naturschutzgebiet, Nationalpark, Nationales Naturmonument, Biosphärenreservat, Landschaftsschutzgebiet, Naturpark, Naturdenkmal und geschützter Landschaftsbestandteil. Für die erste Liste ist dies bis 2010 und für die zweite Liste der FFH-Gebiete bis 2014 erforderlich.

Vor diesem Hintergrund bemessen sich die Restriktionen gegenüber einem PSW nach den Verboten der jeweiligen Schutzgebietsverordnung. Falls diese jede bauliche Nutzung ausschließen, ist ein PSW nicht zulässig.

Falls die Verbote jedoch nicht derart strikt formuliert sind, ist über den Weg einer Verträglichkeitsprüfung nach § 34 BNatSchG 2010 die Genehmigung eines PSW möglich. Sind keine erheblichen Beeinträchtigungen von Erhaltungszielen zu erwarten, ist das Vorhaben unmittelbar zulässig. Andernfalls kann die Genehmigung über das Ausnahmeverfahren erreicht werden, soweit es aus zwingenden Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses, einschließlich solcher sozialer oder wirtschaftlicher Art, notwendig ist und zumutbare Alternativen nicht gegeben sind (hohe Restriktion).

### **2.2.11 Europäische Vogelschutzgebiete (§ 32 BNatSchG 2010)**

Ebenso wie die Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung stellen die Mitgliedstaaten der Europäischen Union die für die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten zahlen- und

flächenmäßig geeignetsten Gebiete unter Schutz. Folglich leiten sich die Restriktionen gegenüber einem geplanten PSW aus der Verordnung des betreffenden Schutzgebiets ab. Weiterhin bedeuten die Erklärung zum besonderen Schutzgebiet und die Bekanntmachung im Bundesanzeiger, dass auch bei Vogelschutzgebieten eine Verträglichkeitsprüfung durchgeführt werden kann.

Je nach vorliegender Eingriffssituation ist daher die Zulassung eines PSW auf diesem Wege möglich (hohe Restriktion).

#### **2.2.12 Naturdenkmale (§ 28 BNatSchG 2010)**

Naturdenkmäler sind rechtsverbindlich festgesetzte Einzelschöpfungen der Natur oder entsprechende Flächen bis zu fünf Hektar. Es kann sich um einen alten Park, einen Waldfriedhof, ein Hünengrab oder etwa eine historische Gartenanlage handeln.

Befindet sich am geplanten Standort eines PSW ein Naturdenkmal, kann das Vorhaben nicht genehmigt werden, da dies in der Regel zu seiner Zerstörung, Beschädigung oder Veränderung führen würde (Ausschluss).

#### **2.2.13 Flächen des Biotopverbundes (§ 21 BNatSchG 2010)**

Der Biotopverbund dient der dauerhaften Sicherung der Populationen wild lebender Tiere und Pflanzen einschließlich ihrer Lebensstätten, Biotope und Lebensgemeinschaften sowie der Bewahrung, Wiederherstellung und Entwicklung funktionsfähiger ökologischer Wechselbeziehungen. Er soll auch zur Verbesserung des Zusammenhangs des Netzes „Natura 2000“ beitragen (§ 21 Abs. 1).

Ein Biotopverbund kann aus folgenden Kategorien zusammengesetzt sein: Nationalparke und Nationale Naturmonumente, Naturschutzgebiete, Natura 2000-Gebiete und Biosphärenreservate, gesetzlich geschützte Biotope im Sinne des § 30 BNatSchG sowie weitere Flächen und Elemente, einschließlich solcher des Nationalen Naturerbes, des Grünen Bandes sowie Teilen von Landschaftsschutzgebieten und Naturparken.

Falls das PSW Flächen eines Biotopverbundes beansprucht, richtet sich die Zulässigkeit des Projektes nach den konkreten Erhaltungszielen der Schutzgebietsausweisungen der einzelnen Elemente des Verbundes. So existiert für ein Naturschutzgebiet (s. Kap. 2.2.2) ein höherer Schutzstatus als für ein Landschaftsschutzgebiet (s. Kap. 2.2.6). Zur Beurteilung des Restriktionsgrades gegenüber einem untertägigen PSW wird auf die nachfolgenden Ausführungen zu den jeweiligen Schutzgebieten und geschützten Flächen verwiesen.

Bei der Auslegung der betroffenen Schutzgebietsverordnungen wird die zuständige Behörde vermutlich auch berücksichtigen, welche Bedeutung die Fläche für den Biotopverbund hat. Falls eine Kernfläche des Biotopverbundes beansprucht werden soll, ist dies gravierender und restriktiver einzuschätzen, als wenn es sich um Verbindungsflächen oder Verbindungselemente handelt.

#### **2.2.14 Wasserschutzgebiete (§§ 51, 52 WHG)**

Wasserschutzgebiete können per Rechtsverordnung durch die Landesregierung festgesetzt werden, soweit es das Wohl der Allgemeinheit erfordert, Gewässer im Interesse der derzeit



bestehenden oder künftigen öffentlichen Wasserversorgung vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen, das Grundwasser anzureichern oder das schädliche Abfließen von Niederschlagswasser sowie das Abschwemmen und den Eintrag von Bodenbestandteilen, Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln in Gewässer zu vermeiden.

Trinkwasserschutzgebiete sollen in Zonen mit unterschiedlichem Schutzniveau unterteilt werden, um der besonderen Bedeutung der verschiedenen Zonen von Trinkwasserschutzgebieten für den Schutz des Trinkwassers angemessen Rechnung tragen zu können (z.B. Fassungsbereich, engere Schutzzone, weitere Schutzzone). Durch Rechtsverordnung oder eine behördliche Entscheidung können in Wasserschutzgebieten, soweit der Schutzzweck dies erfordert, bestimmte Handlungen verboten oder für nur eingeschränkt zulässig erklärt werden.

Wasserschutzgebietsverordnungen enthalten in der Regel weitreichende Verbote der Errichtung baulicher Anlagen jeglicher Art. Lediglich in den weiteren Schutzzonen können bauliche Anlagen unter bestimmten Voraussetzungen nach Maßgabe der Schutzgebietsverordnungen zulässig sein (Ausschluss). Ein PSW könnte die Nutzung eines Wasserschutzgebiets einerseits durch Drainage, andererseits durch Mobilisierung von Schadstoffen schädigen. Falls ein PSW im Betriebsfalle in Wechselwirkung mit dem Grundwasser des Trinkwasserschutzgebiets steht, dürfte der Betrieb eines PSW in allen Zonen unzulässig sein (hohe Restriktion).

### **2.2.15 Schutzwald (§ 12 BWaldG)**

Wald kann zu Schutzwald erklärt werden, wenn es zur Abwehr oder Verhütung von Gefahren, erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen für die Allgemeinheit notwendig ist, bestimmte forstliche Maßnahmen durchzuführen oder zu unterlassen. Die Erklärung zu Schutzwald kommt insbesondere in Betracht zum Schutz gegen schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, gegen Erosion durch Wasser und Wind, Austrocknung, schädliches Abfließen von Niederschlagswasser und Lawinen.

In Art. 10 des Bayerischen Waldgesetzes sind alle Waldgebiete, welche die gesetzlichen Voraussetzungen erfüllen, kraft Gesetz Schutzwald, müssen also nicht per Verwaltungsakt als solcher qualifiziert werden.

Die Genehmigung eines Kahlhiebs oder einer Lichthauung im Schutzwald obliegt der nach Landesrecht zuständigen Behörde. Sie kann die Genehmigung mit Auflagen verbinden, soweit dies zur Erhaltung der Funktionen des Waldes erforderlich ist.

Daher besteht auch die Möglichkeit, ein PSW in einem Schutzwald zuzulassen, falls die Auflagen die spezifische Schutzfunktion des Waldes sicherstellen (hohe Restriktion).

### **2.2.16 Erholungswald (§ 13 BWaldG)**

Nach Bundesrecht können die Länder Wald zu Erholungswald erklären, wenn es das Wohl der Allgemeinheit erfordert, Waldflächen für Zwecke der Erholung zu schützen, zu pflegen oder zu gestalten. Die landesrechtlichen Regelungen unterscheiden sich in ihrer konkreten Ausrichtung.



Beispielsweise kann nach Art. 12 des Bayerischen Waldgesetzes Wald durch Rechtsverordnung zum Erholungswald erklärt werden, wenn ihm eine außergewöhnliche Bedeutung für die Erholung der Bevölkerung zukommt. Nach Art. 9 Abs. 4 Nr. 1 gilt für den Erholungswald das Verbot der Rodung. Demnach kann im bayerischen Erholungswald auch kein PSW genehmigt werden.

Nach § 13 Waldgesetz des Landes Brandenburg ist Erholungswald Wald in Ballungsräumen, in der Nähe von Städten sowie größeren Siedlungen als Teil von Gemeinden und in Erholungsgebieten um Kurorte, der zum Zwecke der Erholung besonders zu schützen, zu pflegen und zu gestalten ist. In einer Rechtsverordnung werden die zur Erreichung des Schutzzwecks erforderlichen Ge- und Verbote sowie Regelungen über Ausnahmen und Befreiungen definiert. In Brandenburg bemisst sich die Zulässigkeit eines PSW an den konkreten Regelungen über Ausnahmen und Befreiungen (mittlere Restriktion).

### **2.2.17 Bodenschutzgebiete (§ 21 Abs. 3 BBodSchG)**

Nach dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) können die Länder in Bereichen Bodenschutzgebiete bestimmen, falls dort flächenhaft schädliche Bodenveränderungen auftreten oder zu erwarten sind, und sie können Maßnahmen und weitere Regelungen über gebietsbezogene Maßnahmen des Bodenschutzes treffen. Besteht bei schädlichen Bodenveränderungen die Befürchtung, dass durch Schadstoffe in besonderem Maße Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit ausgehen, dann können Sanierungsuntersuchungen, die Erstellung von Sanierungsplänen und die Durchführung von Eigenkontrollmaßnahmen verlangt werden.

Da gerade der Bergbau mit flächenhaften schädlichen Bodenveränderungen verbunden sein kann, ist es durchaus möglich, dass einige Bundesländer am Standort stillgelegter Bergwerke Bodenschutzgebiete eingerichtet haben.

### **2.2.18 Verdachtsflächen, Altlasten, altlastenverdächtige Flächen nach § 2 BBodSchG**

§ 2 Abs. 4 bis 6 Bundesbodenschutzgesetz unterscheidet Verdachtsflächen, altlastenverdächtige Flächen und Altlasten. Verdachtsflächen sind Grundstücke, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen besteht. Altlastenverdächtige Flächen sind Altablagerungen und Altstandorte, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderung oder sonstiger Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit besteht. Zu Altlasten zählen auch Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, durch die schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit hervorgerufen werden.

Für diese Flächen werden im Allgemeinen Sanierungs- und Schutzmaßnahmen, zumindest aber Nutzungsbeschränkungen festgelegt. Falls an einem derartigen Standort ein PSW errichtet werden soll, ist davon auszugehen, dass die Nutzungsbeschränkungen der Genehmigung entgegenstehen (hohe Restriktion).

## **2.3 Schutzgutbezogene Restriktionen allgemein**

### **2.3.1 Potenzielle Auswirkungen auf den Menschen, einschließlich menschlicher Gesundheit**

Der Bau eines untertägigen PSW kann für die dort ansässigen Menschen u.a. eine Gefährdung durch Bergschäden verursachen, eine bestehende Trinkwasserversorgung beeinträchtigen und toxische Stoffe über Wasser, Boden und Luft freisetzen (vgl. Kap. 2.3.4, 2.3.5)

In vielen Gegenden Deutschlands hat Bergbau zu Bergschäden geführt. Wird ein geflutetes Bergwerk zur Errichtung eines untertägigen PSW leergepumpt und die Speicherbecken errichtet, können die Gesteinsschichten an Stabilität verlieren, Setzungen und Gebäudeschäden bis hin zu Sturzgefährdungen eintreten. Nicht zuletzt aus diesen Gründen sind beim Bau eines PSW ausreichende Stabilisierungsmaßnahmen notwendig.

Trinkwasserverunreinigungen sind insbesondere über die Einsickerung von Schadstoffen denkbar, die bspw. in Böden und Gewässersedimenten remobilisiert werden können.

Auf dem Luftpfad können sich Gesundheitsbeeinträchtigungen ergeben, wenn in den entfluteten Gruben schädliche Gase, bspw. Radon in Uranbergwerken oder schädliche Stäube, bspw. durch Arsen, entstehen.

### **2.3.2 Potenzielle Auswirkungen auf Tiere, insbesondere Fledermäuse**

Höhlen stellen eine besondere Art von Lebensraum dar. Sie werden durch die relativ konstanten Umweltbedingungen charakterisiert. Es herrscht Finsternis, eine hohe Feuchtigkeit und eine niedrige Lufttemperatur. Tiere, die diesen Lebensraum nutzen, haben sich auf diese Bedingungen spezialisiert. Im Eingangsbereich einer Höhle, der noch gering durch die Außenwitterung beeinflusst wird, können sich feuchteliebende Pflanzenarten ansiedeln. Es kann eine dauerhafte Besiedelung durch Tiere stattfinden oder aber auch eine temporäre Nutzung der Höhlen, z.B. in der Paarungszeit oder Ruhephase. Besonders als Winterquartiere werden Höhlen von Fledermäusen und bestimmten Schmetterlingsarten genutzt (vgl. REISS et al. 2009). Nach Erhebungen aus Hessen kommen die Herbstspinne, die Mauerrassel, der Steinpicker und Fledermausarten wie die Kleine Hufeisennase und die Fransenfledermaus häufig in Höhlen vor (REISS et al. 2009, nach ZANKER 2009).

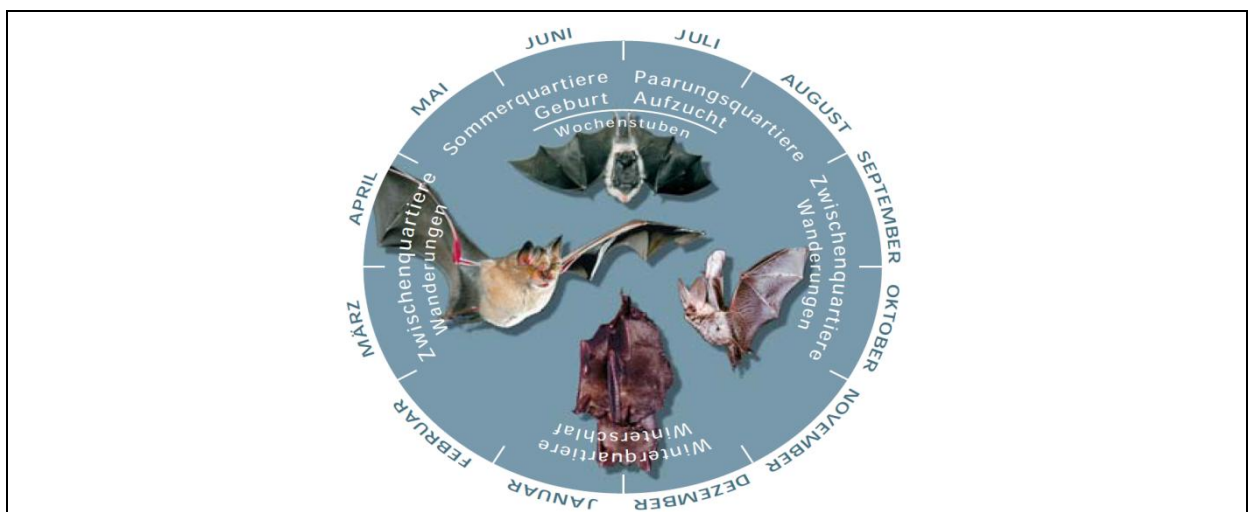
Da Bergwerksstollen bei Stilllegung im Allgemeinen mit einer Betonplombe verschlossen werden, ist zwar nur in Ausnahmefällen davon auszugehen, dass dort Fledermausarten heimisch geworden sind. Allerdings sind alle in Deutschland heimischen Fledermausarten streng geschützt und verdienen daher nähere Betrachtung. Falls Tiere oder Pflanzen der streng geschützten Arten ihre Lebensräume bzw. Standorte in stillgelegten Bergwerken haben, führt die Nachnutzung als untertägiges PSW in der Regel zu einer Schädigung oder erheblichen Störung und damit zu einem Verbotstatbestand (vgl. § 42 BNatSchG), welcher bewirkt, dass die Genehmigung nur im Rahmen einer Ausnahmeprüfung erteilt werden kann, die auch einen Alternativenvergleich beinhaltet.

Das Raumnutzungsverhalten von Fledermäusen weist die Besonderheit auf, dass die Tiere saisonal und artenspezifisch unterschiedliche Habitate bewohnen und nutzen. Wie in dem modellhaften Jahresgang in Abbildung 3 visualisiert, werden bei den Habitaten und Raumnutzungen von Fledermäusen Quartiere, Jagdräume sowie Transferstrecken und

Wanderungen unterschieden. Bei den Quartieren handelt es sich um die sog. Wochenstuben für die Fledermausweibchen (Frühling/Sommer: Geburt und Jungenaufzucht), um Sommer-, Paarungs-, Zwischen- und Winterquartiere. In der kalten Jahreszeit halten Fledermäuse aufgrund des Nahrungsmangels Winterschlaf und zehren von Fettreserven. Ungenutzte Stollen aufgegebener Bergwerke stellen dabei bevorzugte Überwinterungshabitate dar, weil die Isolation des sie umgebenden Erdreiches auch bei starkem Außenfrost eine gleichbleibende Temperatur knapp über dem Gefrierpunkt garantiert. Eine Störung der Winterruhe durch unachtsames Betreten kann den physiologischen Kreislauf der Tiere lebensbedrohlich beeinflussen (REISS et al. 2009). Im Sommer werden Bergwerke allerdings nicht als Quartiere genutzt.

Es ist bei der Standortsuche für ein untertägiges PSW zu prüfen, ob Fledermäuse eine Grube als Winterquartier nutzen. Dies geschieht im Kontakt mit Behörden und Verbänden, durch Auswertung von Fledermauskatastern und ggf. durch Begehung und Kartierung. Vielfach können die zuständigen Bergämter, Naturschutzbehörden und Naturschutzverbände Auskunft geben, ob ein bestimmtes Bergwerk von Fledermäusen als Quartier genutzt wird. Stellt sich dabei heraus, dass Fledermäuse in bedeutender Anzahl vorhanden sind, empfiehlt es sich, diese Grube von vornherein aus der Standortsuche auszuschließen. Eine Nutzung des Bergwerks als PSW ist nicht möglich, ohne Ruhestätten zu beschädigen oder zu zerstören.

Als Entscheidungshilfe dienen auch die bestehenden Kataster zu Fledermausquartieren. In Deutschland existiert bisher kein zentrales Fledermauskataster. In einigen Bundesländern werden allerdings von hoheitlicher Seite Koordinierungsstellen unterhalten, die die Fledermausbeobachtungen in zentralen Datenbanken verwalten und dadurch eine schnelle Übersicht über Höhlen mit Quartieren ermöglichen (LFU 2009; KOORDINATIONSSTELLE FÜR FLEDERMAUSSCHUTZ IN THÜRINGEN 2009). In den meisten Bundesländern wird der Fledermausschutz von Seiten der Naturschutzverbände und von ehrenamtlichen Helfern wahrgenommen, in Baden-Württemberg beispielsweise durch die Arbeitsgemeinschaft Fledermausschutz Baden-Württemberg e.V. (2009).



**Abbildung 3:** Lebenszyklus von Fledermäusen (ALBRECHT 2008, S. 9)

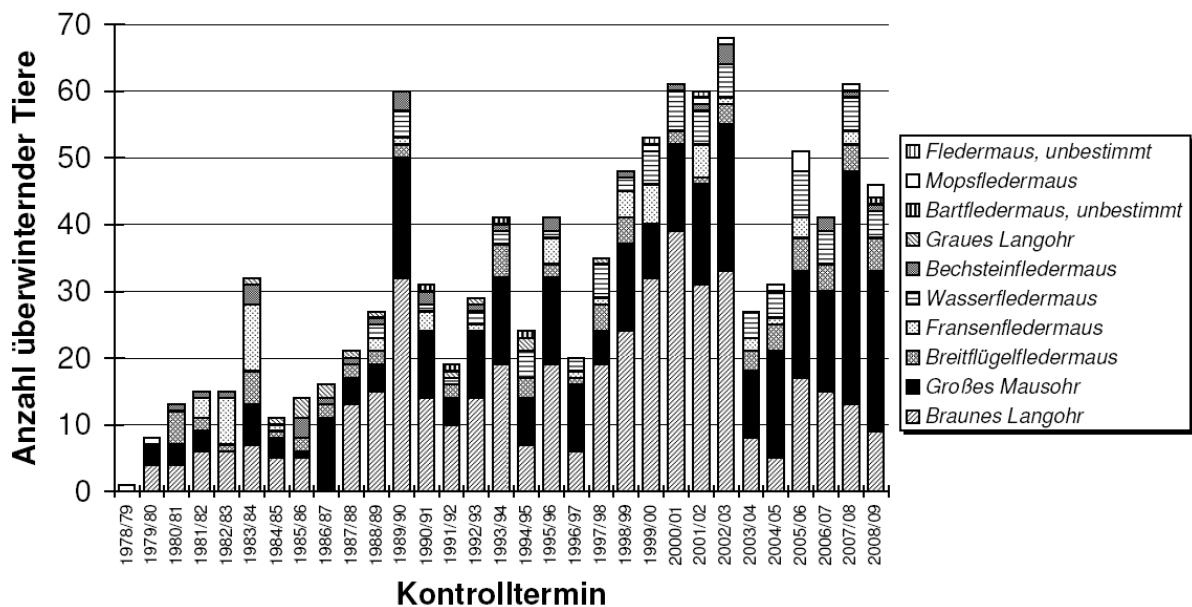
Existiert kein Fledermauskataster, muss vor Ort in Höhlenbegehungen untersucht werden, ob Fledermäuse in einem Bergwerk vorhanden sind; ggf. ist eine Artenschutzprüfung nach § 42 BNatSchG durchzuführen. Bei einer Fledermausbesiedelung besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die ökologische Funktion der von dem Eingriff oder Vorhaben betroffenen

Fortpflanzungs- oder Ruhestätten in vorgesezogenen Ausgleichsmaßnahmen durch neu zu schaffende Ausweichquartiere im räumlichen Zusammenhang zu erfüllen.

Die folgende Abbildung zeigt eine Auswertung von Kontrollgängen einer Fledermaushöhle in Bayern. An der Abbildung ist zu erkennen, dass die Anzahl der festgestellten Tiere seit 1979 kontinuierlich zugenommen hat, aber auch große interannuelle Schwankungen aufweist.

Nach Stilllegung einer Grube werden die Schächte in der Regel durch Verfüllung und Abdichtung verschlossen, um große Senkungen der Tagesoberfläche zu vermeiden, die Grundwasserversalzung zu verhindern, die Lagerstätte zu schützen und Unfälle durch Personen auszuschließen. Falls die Abdichtung der Schächte vollständig erfolgt ist und keine Öffnungen und Zugänge mehr verbleiben, können auch Fledermäuse die Grube nicht als Winterquartier nutzen. Dann bestehen keine Restriktionen aus artenschutzrechtlichen Gründen für den Bau einer untertägigen PSW-Anlage.

In Ausnahmefällen lässt sich eine vollständige Abdichtung der Grube jedoch nicht mit ausreichender Sicherheit annehmen. Insbesondere, wenn ansteigendes Kluftwasser sich einen Weg an die Oberfläche gesucht hat und als Quelle zutage tritt. Dann können sich im Quellbereich auch Öffnungen gebildet haben, die Fledermäusen als Einflugschneise dienen. Vereinzelt existieren stillgelegte Bergwerke, die in Absprache mit den Naturschutzbehörden explizit als Winterquartier für Fledermäuse genutzt werden und Einfluglöcher aufweisen.



**Abbildung 4:** Bestandsentwicklung überwinternder Fledermäuse im Winterquartier XY (Koordinationsstelle für Fledermausschutz in Nordbayern, Dezember 2008)

### 2.3.3 Potenzielle Auswirkungen auf Pflanzen

Die Vegetation auf alten Bergwerksgeländen hat sich an die vorherrschenden Standortbedingungen angepasst. Typische Eigenschaften sind ein hoher Anteil an im Boden vorhandenen Schadstoffen – wie sie vor allem die Schwermetallrasen prägen – und möglicherweise die Nachwirkungen eines veränderten Bodenwasserhaushalts, da sich nach der Schließung des Bergwerks wieder ein höherer Grundwasserspiegel einstellt.

In der Regel sind beim Bau einer untertägigen PSW-Anlage die zu erwartenden Auswirkungen auf die Vegetation gegenüber anderen Vorhabentypen relativ geringfügig, da der Großteil der Anlagen untertägig installiert wird. Falls vorhandene Gebäude und Straßen nachgenutzt werden können, findet keine Inanspruchnahme von Vegetation durch Überbauung statt. Liegt die Stilllegung des Bergwerks schon längere Zeit zurück, kann es für die Nutzung des alten Werksgeländes nötig sein, in gewissen Umfang vorhandene Gehölzstrukturen (Bewuchs von Straßen und Gebäuden) zu entfernen.

Neben der Beseitigung der Pflanzendecke durch Gebäude kann sich auch die Absenkung des Grundwasserspiegels negativ auf die vorhandene Vegetation auswirken. Hierfür ist die Wasserhaltung verantwortlich, die im Betrieb des PSW eindringendes Grund- und Sickerwasser abführen muss. Je nach Beschaffenheit der Gesteinsschichten und des Rückhaltevermögens der Bodenschichten führt dies zu mehr oder weniger starken Veränderungen der für die Vegetation verfügbaren Wassermenge. Im Extremfall kann es zu Trockenschäden kommen.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die Nachnutzung des Bergwerks als PSW eine ähnliche Wasserhaltung erfordert wie für die ehemalige Förderung von Erzen oder Salzen. Das heißt, dass sich die Vegetation möglicherweise schon einmal an die Feuchteverhältnisse infolge von Wasserhaltung angepasst hat. Je länger das Werk nicht mehr in Betrieb ist, desto eher hat sich der Grundwasserspiegel „normalisiert“.

Die Vegetation auf dem Gelände eines geplanten PSW ist ein Indikator für den „mengenmäßigen Zustand des Grundwassers“. Ggf. sind Maßnahmen zu ergreifen, um den mengenmäßigen Grundwasserzustand im Sinne der Grundwasserverordnung (GrwV) zu sichern (s. Kap. 2.3.6).

#### **2.3.4 Potenzielle Auswirkungen auf den Boden**

Bergwerke und ihre nähere Umgebung sind meist durch die jahrelangen Abbauarbeiten mit Schwermetallen wie Blei, Cadmium, Zink, Kupfer, Chrom, Nickel, Quecksilber und/oder Arsen hoch belastet und kontaminiert. Schwermetalle werden im Boden nicht abgebaut und sind in der Regel unbeweglich. Bei der Nutzung von ehemaligen Bergwerken als untertägige PSW sind die Auswirkungen auf den Boden vom Umfang des Eingriffs abhängig, der für die Baustrukturen des PSW erforderlich ist. Bei jeglichen Arbeiten ist zu beachten, ob Altlastenflächen, Bodenschutzgebiete und Nutzungseinschränkungen auf der jeweiligen Fläche bestehen.

Gerade in alten Bergbaugebieten weisen die Böden in der Regel hohe Schadstoffbelastungen auf, die durch die Errichtung von Gebäuden für untertägige PSW bewegt und auch mobilisiert werden können. Darüber hinaus ist es meist erforderlich, die vorhandenen Bergwerksstollen zu erweitern, um ein ausreichendes Volumen für die Speicherbecken zu erhalten. Hierfür müssen ggf. Stollenverfüllungen entfernt und Gestein gebrochen werden. Dabei fallen Verfüllungen und Ausbruchsmaterialien an, die abtransportiert und bei Belastung deponiert werden müssen.

Es gibt mehrere Arten der Entsorgung des Ausbruchsmaterials: Abraum kann auf Deponien oder Halden entsorgt werden oder in Verwertungsanlagen verarbeitet werden. Damit eine Nachnutzung und Weiterverwendung als Wertstoff (z.B. Schotter) möglich ist, müssen die Grenzwerte des Bodenschutzes im Hinblick auf die jeweiligen Stoffe eingehalten werden.



Das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG) regelt den Umgang mit schädlichen Bodenveränderungen und der Sanierung von durch Altlasten verunreinigten Bodens. Nach § 4 Abs. 3 BBodSchG ist bestimmt: „Der Verursacher einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast sowie dessen Gesamtrechtsnachfolger, der Grundstückseigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück sind verpflichtet, den Boden und Altlasten sowie durch schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten verursachte Verunreinigungen von Gewässern so zu sanieren, dass dauerhaft keine Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen.“

Die o.g. Regelung kann im worst case bedeuten, dass der Betreiber eines PSWuT als Rechtsnachfolger eines Altlastverursachers zu umfangreichen Sanierungsverpflichtungen herangezogen wird, die mit dem Betrieb des PSWuT wenig zu tun haben.

Weitere Regelungen trifft die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Im dritten Teil der Verordnung werden die Anforderungen für Sanierungen von Altlasten definiert und durch § 5 werden die Sanierungsmaßnahmen, Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen festgelegt. Nach § 21 wird den Ländern die Möglichkeit eröffnet, länderspezifische Regelungen zu schaffen, um Gebiete ausweisen zu können, in denen flächenhaft schädliche Bodenveränderungen auftreten oder zu erwarten sind sowie weitere Regelungen über gebietsbezogene Maßnahmen des Bodenschutzes zu treffen.

Einige Bundesländer und Landkreise haben bereits Verordnungen für den Umgang mit Altlasten erlassen und Informationssysteme und Altlastenausweisungskarten eingerichtet; Bodenplanungsgebiete (Niedersachsen, Hamburg und Sachsen), Bodenbelastungsgebiete (Bremen und Sachsen-Anhalt), Bodengefährdungsgebiete (Schleswig-Holstein) und Bodenschutzgebiete (Nordrhein-Westfalen) (vgl. ARNOLD 2003). In NRW gibt es das Fachinformationssystem „Altlasten und schädliche Bodenveränderungen“ (FIS AlBo). Im Landkreis Goslar wurde das Bodenplanungsgebiet Harz eingerichtet.

Des Weiteren gibt es die Möglichkeit anfallenden Aushub in stillgelegten Bergwerken in unterirdische Hohlräume zu verfrachten und als Füllmaterial zu verwenden, wodurch, neben der Entsorgung des Materials, auch die Standsicherheit der Grube erhöht wird.

Oberirdische Bereiche mit einer geringen stofflichen Belastung können durch Bodenaustausch oder Abdeckung mit Oberboden bereinigt werden. Bei der Flächeninanspruchnahme von durch Altlasten belasteten Bodens müssen wiederum rechtliche und bauliche Regelungen beachtet werden (s. BBodSchG, BBodSchV, BauGB und die jeweiligen Landesbestimmungen). Hier sind erneut der Abtransport und die sachgemäße Deponierung zu gewährleisten. Jegliche Vermischung von belasteten und unbelasteten Boden ist strikt zu vermeiden.

Die Nachnutzung von vorhandenen (baulichen) Strukturen für die infrastrukturelle Einrichtung eines untertägigen PSW kann die Menge des zu deponierenden Materials verringern.

Im Vergleich zu anderen Vorhaben weist die Errichtung von PSW in stillgelegten Bergwerken eher geringe Einflüsse auf den Boden auf, da der Großteil der erforderlichen Gebäude und Anlagenteile wie Speicherbecken in bestehenden Strukturen nachgenutzt werden können. Falls oberirdisch neue Gebäude errichtet werden müssen, können zusätzliche Sanierungsmaßnahmen erforderlich werden, ggf. auch der Abtransport und die Deponierung

von Boden. Der Aufwand bemisst sich im Einzelfall nach dem Umfang der Bauarbeiten und dem Gesteinsabtrag.

## 2.3.5 Potenzielle Auswirkungen auf Oberflächengewässer

### 2.3.5.1 Bewertungsmaßstäbe und Umweltqualitätsnormen

In Bezug auf mögliche Beeinträchtigungen eines Oberflächengewässers durch eine untertägige PSW-Anlage sind zwei Aspekte bedeutsam:

1. die Einleitung von Flutungs-/Grubenwasser in ein Gewässer und
2. die Entnahme von Betriebswasser.

In beiden Fällen können wasserrechtliche Gestattungen notwendig sein, bei denen unterschiedliche Grenzwerte bzw. Umweltqualitätsnormen anzuwenden sind.

Bei den meisten stillgelegten Bergwerken sind die Hohlräume entweder mit Ausbruchmaterial oder mit Sickerwasser gefüllt. Nach der Stilllegung eines Bergwerks wird entweder eine aktive Grubenflutung durchgeführt oder es findet eine passive Flutung durch Eintritt von Sickerwässern statt. Durch die aktive Flutung soll das Grubengebäude stabilisiert und ggf. die Pyritverwitterung vermieden werden. Die Pyritverwitterung produziert Säure, die wiederum die Freisetzung von toxischen Metallionen fördert. Wird das Grubenwasser nach der Stilllegung nicht mehr abgepumpt, dann füllen sich die Hohlräume durch Sickerwasser und eindringendes Grundwasser bis zu der Sohle, die sich auf dem Niveau der Grundwasseroberkannte befindet. Dann tritt das Sickerwasser oberirdisch als Quelle zutage.

Wird die Grube für den Betrieb des PSW leergepumpt, dann stellt sich die Frage, welche Schadstoffe im Laufe der Jahre in Lösung gegangen sind und dann möglicherweise Gewässer beeinträchtigen. Weiterhin besteht die Gefahr, dass im Zuge der permanenten Wasserhaltung Schadstoffe in Gewässer eingetragen werden. Da sich durch das Leerpumpen der Stollen die Oberfläche im Bergwerk vergrößert, verstärkt sich der Wasserzustrom durch Sickerwasser. Darüber hinaus kommt es zu einem stärkeren Eindringen von Grundwasser in die Grube, falls der Grundwasserspiegel durch Pumpen abgesenkt wird. Dieses anfallende Wasser muss dann ständig abgepumpt und eingeleitet werden (Wasserhaltung).

Bei Bau und Betrieb eines untertägigen PSW ergeben sich somit drei wasserrelevante Situationen:

1. zu Beginn der Bauphase durch Abpumpen und Einleiten des Grubenwassers,
2. am Ende der Bauphase durch Wasserentnahme zum Auffüllen der Speicherbecken,
3. im Betrieb durch Einleitungen im Rahmen der ständigen Wasserhaltung.

Falls das Grubenwasser als Abwasser eingestuft wird, darf nach § 7a WHG eine Erlaubnis für das Einleiten nur erteilt werden, wenn die Schadstofffracht des Abwassers so gering gehalten wird, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist. Die zuständigen Wasserbehörden beziehen sich bei der Bewertung der Einleitungen auf folgende Maßstäbe:

- die Bewirtschaftungsziele und Maßnahmenprogramme des Oberflächengewässers und



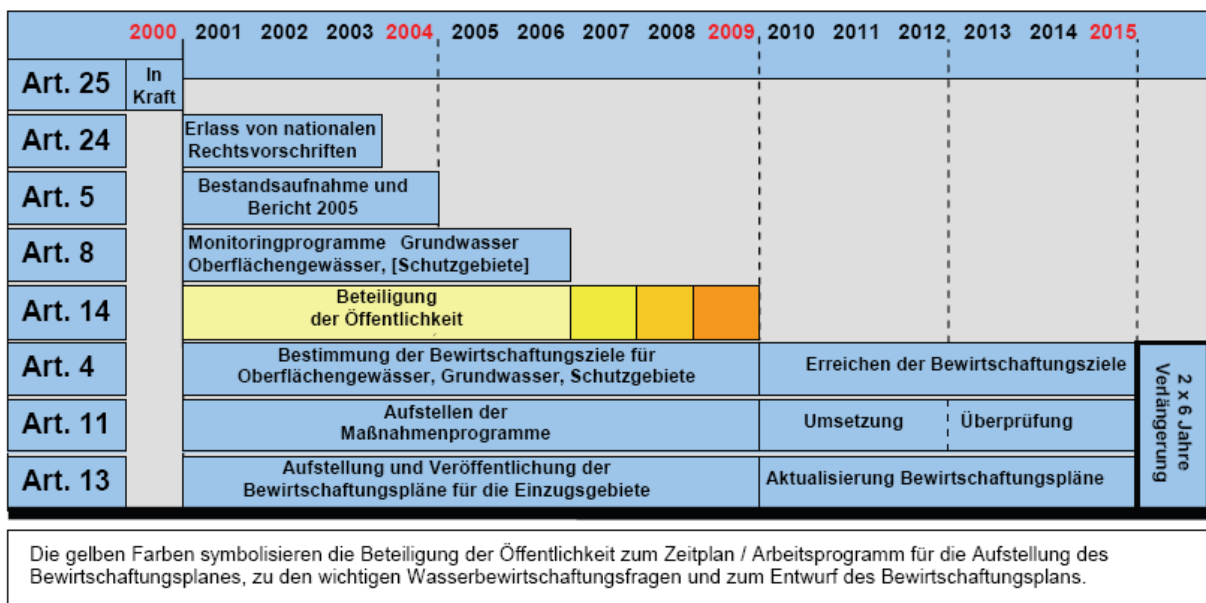
- die gesetzlichen Grenzwerte und Umweltqualitätsnormen für den ökologischen und chemischen Zustand bzw. das Potenzial des Oberflächengewässers (RdErl. d. MU v. 13.10.2009)<sup>1</sup>.

### Bewirtschaftungsziele und Maßnahmenprogramme als Bewertungsmaßstäbe

Im Zuge der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) im nationalen Wasserhaushaltsgesetz sowie den Wassergesetzen der Länder haben die Flussgebietsgemeinschaften bis Ende 2009 Bewirtschaftungsziele und Maßnahmenprogramme für ihre Gewässer aufgestellt. Dies ergibt sich aus den Anforderungen der EG-WRRL, des nationalen Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31.7.2009 und den Wassergesetzen der Länder. Bis zum Jahr 2015 soll ein guter ökologischer und chemischer Zustand in allen Gewässern der EU erreicht werden. Abbildung 5 zeigt den Ablauf der Umsetzung.

Die Bewirtschaftungspläne enthalten für jede Flussgebietseinheit die Angaben zur Zustandsanalyse, zur wirtschaftlichen Analyse der Wassernutzungen, zur Überwachung, zu den Umweltzielen, zur Anhörung der Öffentlichkeit sowie eine Zusammenfassung der Maßnahmenprogramme. Die Bewirtschaftungspläne für die Einzugsgebiete können durch detaillierte Programme und Bewirtschaftungspläne für Teilgebiete, Sektoren, Problembereiche oder Gewässertypen ergänzt werden.

Als grundlegende Bewertungsmaßstäbe, um die Zulässigkeit der Einleitung von Grubenwasser in ein Oberflächengewässer zu beurteilen, kommen nationale und europäische Umweltqualitätsnormen (UQN) zur Einstufung des ökologischen und chemischen Zustandes zur Anwendung.



**Abbildung 5:** Zeitplan der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (NLWKN 2009b)

<sup>1</sup> Wesentliche Auswirkungen sind in der Regel gegeben bei Planungen, Entscheidungen und Maßnahmen im Zusammenhang mit der Benutzung von Gewässern (§ 3 NWG), beim Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten oder Ableiten von Grundwasser, wenn die Wassermenge durch ein- oder mehrfache Nutzung eines Grundwasservorkommens größer als 250.000 m<sup>3</sup> je Jahr oder 5000 m<sup>3</sup> je Tag in Lockergestein bzw. größer als 100.000 m<sup>3</sup> je Jahr oder 2.000 m<sup>3</sup> in Festgestein ist (Nr. 3.1.1.3 RdErl.).

Auf der Grundlage der europäischen Richtlinien sowie der Zielvorgaben der internationalen Flussgebietskommissionen zum Schutz der Elbe und des Rheins hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 1997, 1998a, 1998b) für Oberflächengewässer Zielvorgaben für Schwermetalle, Industriechemikalien und Pestizide festgelegt. Unter Zielvorgaben werden fachlich begründete Orientierungswerte für den Vollzug verstanden, die rechtlich nicht verbindlich sind. Bezogen auf die Konzeption der LAWA wurden vom Umweltbundesamt (UBA) – getrennt für die Schutzgüter „Aquatische Lebensgemeinschaften“, „Schwebstoffe und Sedimente“ und die Nutzungsarten „Berufs- und Sportfischerei“, „Trinkwasserversorgung“ und „Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen“ – für eine Reihe von gefährlichen Stoffen Zielvorgaben abgeleitet und begründet. Eine Übersicht der Zielvorgaben findet sich auf der Website des UBA (<http://www.uba.de/wasser/themen>).

Um die zulässige Konzentration eines Stoffes zu ermitteln, ist es erforderlich, die Einleitung durch ein Vorhaben in eine Gewässerimmission umzurechnen. Zur Mischberechnung der Emission in Immission werden in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und anderen Bundesländern die „Allgemeinen Güteanforderungen für Fließgewässer (AGA) Entscheidungshilfe für die Wasserbehörden im wasserrechtlichen Erlaubnisverfahren“ herangezogen (AGA Fließgewässer 1991). In Bezug auf die Bewertung der Immissionen werden (1) chemische Qualitätskomponenten für Umweltqualitätsnormen zur Einstufung des chemischen Zustands, (2) chemische Qualitätskomponenten für Umweltqualitätsnormen zur Einstufung des biologischen Zustands, (3) Zielvorgaben für Metalle und (4) Umweltqualitätsnormen zur Einstufung des ökologischen Zustandes verwendet.

#### Chemische Qualitätskomponenten für Umweltqualitätsnormen zur Einstufung des chemischen Zustands

Die Bundesländer haben die Anhänge II und V der EG-WRRL jeweils über eine Verordnung umgesetzt. Im Freistaat Sachsen wurden die Anhänge II und V der EG-WRRL über die sächsische Wasserrahmenrichtlinienverordnung (SächsWRRLVO) vom 07.12.2004, Anlage 5 umgesetzt. In Niedersachsen befindet sich die so genannte „chem“-Liste in der Anlage 5 der Niedersächsischen Verordnung zum wasserrechtlichen Ordnungsrahmen vom 27. Juli 2004. Demnach sind folgende Umweltqualitätsnormen einzuhalten (s. Tabelle 1).

#### Chemischen Qualitätskomponenten für Umweltqualitätsnormen zur Einstufung des ökologischen Zustands

Die chemischen Qualitätskomponenten für Umweltqualitätsnormen (UQN) zur Einstufung des ökologischen Zustands und Umsetzung der Anhänge II und V der EG-WRRL findet sich in der Niedersächsischen Verordnung zum wasserrechtlichen Ordnungsrahmen in Anlage 4. Für Zink wird ein Schwebstoffgehalt von 800 mg/kg angeführt, der im arithmetischen Jahresmittelwert nicht überschritten werden darf.

#### Zielvorgaben für Metalle

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über Qualitätsanforderungen der LAWA, der internationalen Flussgebietsgemeinschaften und der Europäischen Union für Schwermetalle. Die Qualitätsanforderungen sind angegeben in der Schwebstoffphase in mg/kg sowie in der

Wasserphase in µg/l. Für aquatische Lebewesen beträgt beispielsweise die Qualitätsanforderung für Zink 14 µg/l und für Blei 3,4 µg/l.

**Tabelle 1:** Umweltqualitätsnormen für die Einstufung des chemischen Zustands nach der Niedersächsischen Verordnung zum wasserrechtlichen Ordnungsrahmen

EG-Nr.		QN WRRL*)	Einheit
1	Aldrin1)	0,01, 0,005**)	µg/l
3	Anthracen	0,01	µg/l
7	Benzol	10	µg/l
12	Cadmium	1, 0,5**)	µg/l
13	Tetrachlorkohlenstoff	12	µg/l
23	Chloroform (Trichlormethan)	12	µg/l
46	4,4-DDT	10	µg/l
59	1,2-Dichlorethan	10	µg/l
62	Dichlormethan	10	µg/l
71	Dieldrin1)	0,01, 0,005**)	µg/l
77	Endrin1)	0,01, 0,005**)	µg/l
83	Hexachlorbenzol	0,03	µg/l
84	Hexachlorbutadien	0,1	µg/l
85	Hexachlorcyclohexan2)	0,05, 0,02**)	µg/l
92	Quecksilber	1, 0,5***), 0,3**)	µg/l
96	Naphthalin	1	µg/l
(99)	Benzo(a)pyren	0,01	µg/l
(99)	Benzo(b)fluoranthren	0,025	µg/l
(99)	Benzo(ghi)perylene	0,025	µg/l
(99)	Benzo(k)fluoranthren	0,025	µg/l
(99)	Fluoranthren	0,025	µg/l
(99)	Ideno(1.2.3-cd)pyren	0,025	µg/l
102	Pentachlorophenol	2	µg/l
111	Tetrachlorethen	10	µg/l
(117), (117), (117), 118	1,2,3-Trichlorbenzol, 1,3,5-Trichlorbenzol, 1,2,4-Trichlorbenzol	0,43)	µg/l
121	Trichlorethen	10	µg/l
130	Isodrin1)	0,01, 0,005**)	µg/l
-	Nitrat	50	µg/l

**Legende:** 1) jeweils Summe Aldrin, Dieldrin, Endrin, Isodrin; 2) HCH gesamt (alle Isomere); 3) Summe der drei Trichlorbenzole; \*) Qualitätsnorm nach der Richtlinie 2000/60/EG; \*\*) in Küstengewässern; \*\*\*) in Übergangsgewässern

### Umweltqualitätsnormen zur Einstufung des ökologischen Zustandes

Zur Einstufung des ökologischen Zustandes eines Oberflächengewässers wird die Qualität von Struktur und Funktionsfähigkeit aquatischer, in Verbindung mit Oberflächengewässern stehender Ökosysteme gemäß der Einstufung nach Anhang V der EG-WRRL verwendet.

Qualitätskomponenten für die Einstufung des ökologischen Zustands sind demzufolge:

- biologische Komponenten (Zusammensetzung und Abundanz der Gewässerflora, Zusammensetzung und Abundanz der benthischen wirbellosen Fauna, Zusammensetzung, Abundanz und Altersstruktur der Fischfauna),
- Hydromorphologische Komponenten in Unterstützung der biologischen Komponenten (Wasserhaushalt, Abfluss und Abflussdynamik, Verbindung zu Grundwasserkörpern; Durchgängigkeit des Flusses, morphologische Bedingungen, Tiefen- und Breitenvariation, Struktur und Substrat des Flussbetts, Struktur der Uferzone),
- Chemische und physikalisch-chemische Komponenten in Unterstützung der biologischen Komponenten (Temperaturverhältnisse, Sauerstoffhaushalt, Salzgehalt, Versauerungszustand, Nährstoffverhältnisse).

**Tabelle 2:** Übersicht über Qualitätsanforderungen der LAWA, der internationalen Flussgebietsgemeinschaften und der EG für Schwermetalle (UBA 2010)

	ZV LAWA							ZV IKSE		ZV IKSR	QZ EG-RL 76/46 4
Stoff	A (TS)	A	S (TS)	S	T	F	B	A (TS)	S (TS)		
Einheit	mg/k g	µg/l	mg/k g	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/k g	mg/k g	mg/k g	µg/l
Vergleichswert	50P	50P	50P	50P	90P	90P	90P	50P	50P	90P	MW
<b>Arsen</b>								40	30		
<b>Blei</b>	100	3,4	100	3,4	50	5	50	100	100	100	
<b>Cadmium</b>	1,2	0,07	1,5	0,09	1	1	5	1,2	1,5	1	1 <sup>1)</sup>
<b>Chrom</b>	320	10	100	3,1	50	--	50	320	150	100	
<b>Kupfer</b>	80	4	60	3	20	--	50	80	80	50	
<b>Nickel</b>	120	4,4	50	1,8	50	--	50	120	60	50	
<b>Quecksilber</b>	0,8	0,04	1	0,05	0,5	0,1	1	0,8	0,8	0,5	1 <sup>2)</sup>
<b>Zink</b>	400	14	200	7	500	--	1.000	400	200	200	

**Legende:** ZV = Zielvorgabe (TS = bezogen auf Trockensubstanz), QZ = Qualitätsziel, T = Schutzgut "Trinkwasserversorgung", A = Schutzgut "Aquatische Lebensgemeinschaften", F = Schutzgut "Fischerei", S = Schutzgut "Schwebstoffe und Sedimente", B = Schutzgut "Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen", 50P = 50-Perzentil, 90P = 90-Perzentil, MW = Jahresmittelwert; kursiv: Gesamtkonzentrationen aus Schwebstoffzielvorgaben berechnet (25 mg/l Schwebstoff), daher Vergleichswert 50-Perzentil; diese Rechenwerte sollten nur dann Anwendung finden, wenn keine Messungen im Schwebstoff vorliegen. 1) bei Einleitereinfluss 5 µg/l; 2) bei Einleitereinfluss

Auf dieser Grundlage erarbeiten die einzelnen Länder für die einzelnen Gewässer Gewässergüteberichte. In Niedersachsen werden hierfür die Gewässerstrukturgüte, die biologische Gewässerqualität und die Belastung mit Schwermetallen erfasst (NLWKN 2010). Die biologische Gewässergüte wird anhand von biologischen Indikatoren (Makrozoobenthos = wirbellose Tiere, die den Gewässerboden besiedeln) und dem Sauerstoffhaushalt des Fließgewässers erfasst. Das Gewässergütesystem weist 7 Stufen auf: von Güteklasse I, unbelastet bis sehr gering belastet, bis Güteklasse IV, übermäßig verschmutzt.

In den Bundesländern existieren weitere Anforderungen an den biologischen Zustand. Beispielsweise sind in Niedersachsen bestimmte Gewässer als Fisch- und Muschelgewässer definiert. Für diese gelten besondere Anforderungen, etwa zu pH-Wert, Temperatur oder gelöstem Sauerstoff, entsprechend ihrer Einordnung als Cypriniden-, Salmoniden- und oder

Muschelgewässer (Verordnung über Qualitätsanforderungen an Fischgewässer und Muschelgewässer, vom 15. Mai 2007).

#### Umweltqualitätsnormen gemäß der Richtlinie prioritäre Stoffe

Im Zuge der Umsetzung der europäischen Wasserpoltik ist in diesem Jahr eine Verschärfung der bisher anzuwendenden Grenzwerte und Umweltqualitätsnormen (UQN) zu erwarten.

Das Europäische Parlament hat am 16.12.2008 die Richtlinie „prioritäre Stoffe“ (2008/105/EG) veröffentlicht, in der Umweltqualitätsnormen (UQN) enthalten sind, um einen guten chemischen Zustand der Oberflächengewässer zu erreichen. Diese Richtlinie, die neben den prioritären Stoffen (Anhang X) noch weitere Stoffe enthält, muss von den Mitgliedsstaaten bis zum 13. Juli 2010 in Rechts- und Verwaltungsvorschriften umgesetzt werden. Dann löst sie die gesetzlich geregelten europäischen Umweltqualitätsnormen des Anhangs IX der WRRL ab sowie die darauf basierenden landesrechtlichen Gesetze und Verordnungen. In Deutschland wird zurzeit eine Bundes-Verordnung, unter Beteiligung der Bundesländer, konzipiert, die im Frühjahr 2010 in Kraft treten wird. Die in den Verordnungen der Länder angeführten Normen werden mit Einführung der Bundes-Verordnung ihre Gültigkeit verlieren.<sup>2</sup>

Die Richtlinie „prioritäre Stoffe“ beinhaltet neben den UQN auch die zu untersuchenden Matrices, wie beispielsweise, dass Tributylzinn in der Wasserphase (gesamt) und Schwermetalle in der gelösten Wasserphase zu messen sind. Darüber hinaus sind in dieser Richtlinie für drei der Stoffe auch UQN für Biota enthalten. Dies Alles hat zur Folge, dass ältere vorliegende Daten nicht entsprechend bewertet werden können, sondern dass spezielle auf die Richtlinie abgestimmte Untersuchungen durchgeführt werden müssen (NLWKN 2009b).

Eine Verschärfung für die Genehmigungspraxis ergibt sich auch dadurch, dass neben Umweltqualitätsnormen, die sich auf die Jahresdurchschnittswerte beziehen, für bestimmte Stoffe zulässige Höchstkonzentrationen festgelegt wurden, die zeitweise nicht überschritten werden dürfen. Kommt es zu einer Überschreitung der Umweltqualitätsnormen, so sind spezifische Maßnahmen zur Beendigung oder schrittweisen Einstellung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten zu ergreifen.

Um die Einhaltung der UQN beim Bau und Betrieb eines untertägigen PSW beurteilen zu können, ist es erforderlich, dass die Konzentration der relevanten Stoffe im Grubenwasser bestimmt und daraus die zulässige Fracht im Gewässer abgeleitet wird.

#### **2.3.5.2 Baubedingte Einleitungen in Oberflächengewässer**

Um die Speicherbecken anzulegen und das Kraftwerk in den Stollen einbauen zu können, ist ein Leerpumpen des Bergwerks unumgänglich. Da die meisten Bergwerke nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren aufgebaut sind, kann das Grubenwasser nicht in einen anderen Teil der Grube gepumpt werden. Demzufolge muss es an die Tagesoberfläche gehoben und in ein Gewässer eingeleitet werden. Hierbei ist zu prüfen, welche Konzentrationen die Schadstoffe in den Gewässern erreichen können, ob die gesetzlichen

---

<sup>2</sup> Die in der Anlage 5 aufgeführten Qualitätsnormen der Niedersächsischen Verordnung zum wasserrechtlichen Ordnungsrahmen weichen teilweise erheblich von den in der Richtlinie 2008/105/EG enthaltenen UQN ab. Auch bestehen zwischen diesen beiden Listen große Unterschiede bezüglich der Anzahl der Stoffe und der Untersuchungsmatrices.

Grenzwerte eingehalten werden, und ob geeignete Verfahren der Abwasserbehandlung angewendet werden können. Da es sich beim Grubenwasser um einen sehr komplexen und entscheidenden Umweltaspekt hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit des untertägigen PSW Bad Grund handelt, empfehlen wir, frühzeitig Wasserproben zu analysieren und vertiefte Fachgutachten zu erstellen.

Im Allgemeinen bildet das kontaminierte, hoch mineralisierte, durch säureproduzierende Prozesse belastete Grubenwasser aufgegebener Bergwerke ein gravierendes ökologisches Problem: Je niedriger der pH-Wert des Wassers, desto mehr wird die Gesteinsverwitterung und die Schwermetallfreisetzung unterstützt. In Deutschland existieren viele stillgelegte Bergwerke, die saure Grubenwässer mit entsprechend hohen Schwermetallkonzentrationen aufweisen. Soll ein entsprechendes Bergwerk mit einem untertägigen PSW nachgenutzt werden, dann ist bei der Ausleitung des Grubenwassers mit hohen Schadstofffrachten durch u.a. Schwermetalle, Radionuklide, Säuren und/oder Sulfate zu rechnen.

Das Fluten von Bergwerken hat vielfach Jahre gedauert. Für den Bau eines PSW wird man versuchen, den Zeitraum des Abpumpens abzukürzen. Es wird vor Ort zu klären sein, welche ökologischen Folgen damit verknüpft sind. Voraussichtlich werden u.a. schwermetallhaltige Sedimente in den betroffenen Vorflutern mobilisiert und weiter in den Unterlauf getragen.

Formen der aktiven und der passiven Reinigung von Grubenwasser werden im Rahmen der Wasserhaltung im Betrieb eines PSW weiter unten diskutiert.

### **2.3.5.3 Entnahme von Wasser für das Auffüllen der Speicherbecken**

Nach dem Bau der Speicherbecken, der Installation der Turbine und des Kraftwerks müssen die Becken für den Betrieb mit Wasser aufgefüllt werden.

Allgemein ist bei der Entnahme von Wasser darauf zu achten, dass die Mindestwasserführung des Entnahmegewässers nicht unterschritten wird. Im novellierten WHG 2010 regelt § 33, dass das Entnehmen von Wasser aus einem oberirdischen Gewässer nur dann zulässig ist, wenn die Abflussmenge erhalten bleibt, die für die Bewirtschaftungsziele des Gewässers und anderer hiermit verbundener Gewässer erforderlich ist. Insbesondere in Zeiten der Niedrigwasserführung, meist im Sommer, ist eine Wasserentnahme möglicherweise nicht zulässig.

### **2.3.5.4 Betriebsbedingte Einleitungen in Oberflächengewässer**

Es ist davon auszugehen, dass sich der Wasserzufluss und auch der Durchfluss durch das Leerpumpen der Stollen und Absenken des Grundwasserspiegels infolge der Wasserhaltung gegenüber dem stillgelegten Zustand deutlich erhöhen wird, da sich die Oberfläche der leergepumpten Stollen vergrößert und ein Druckunterschied zwischen Oberfläche und dem unteren Speicherbecken entsteht. Grundsätzlich ist daher für den Betrieb eines untertägigen PSW eine kontinuierliche Wasserhaltung erforderlich, um die zutretenden Wässer (Sicherwasser, Grundwasser) zu fangen und abzuleiten. Andernfalls würde die Grube erneut volllaufen und die Bewegung des Speichermediums zur Stromgewinnung unterbinden. Mit dem erhöhten Anfall von Grubenwasser fallen voraussichtlich auch größere Schadstoffkonzentrationen (u.a. Schwermetalle, Radionuklide, Säuren und Sulfate) an.



Kontaminiertes Grubenwasser entsteht u.a. dann, wenn Gesteine, welche (Di)Sulfidminerale enthalten, mit Wasser und Sauerstoff in Kontakt kommen und Verwitterungsprozesse einsetzen. Daraus resultieren die Erniedrigung des pH-Wertes und eine ansteigende Konzentration von Metallionen sowie Sulfat im Wasser. Unter ungestörten Bedingungen existiert ein nur minimaler Kontakt zwischen Gestein und Sauerstoff, so dass die Minerale chemisch nahezu stabil sind und die Säureproduktion somit sehr gering ist. Durch den Betrieb des untertägigen PSW werden die Gesteine erneut den Elementen Wasser und Luft ausgesetzt, so dass die festen Phasen chemisch instabil werden. Bereits geringe Mengen an Disulfidminerale, gewöhnlich nur wenige Gewichtsprozent in den Erzen, Kohlen bzw. Bergbauabfällen, haben das Potenzial, signifikante Umweltbelastungen auszulösen, die Jahre bis Jahrzehnte andauern können (ebd.). Die Flutung von stillgelegten Bergwerken hat ja gerade die Aufgabe, die Zufuhr von frischem Sauerstoff dauerhaft zu unterbinden („Verschlusssystem“) (BECKER 2003). Die Inbetriebnahme eines untertägigen PSW macht diesen Effekt rückgängig.

Der Umfang der zu erwartenden Schadstoffbelastung kann nur im Einzelfall geklärt werden. Einerseits ist es möglich, dass frühere Schadstofffrachten des Grubenwassers vor allem durch Stäube entstanden und heute größtenteils ausgewaschen sind (Schnell, Wasserbehörde LK Osterode am Harz, Tel. am 6.1.2010). Dann wären im Rahmen der Wasserhaltung des PSW nur geringfügig höher konzentrierte Einleitungen zu erwarten. Andererseits ist gänzlich unklar, welche Beschaffenheit das eindringende Grundwasser jeweils hat. Wären darin beispielsweise Huminstoffe gelöst, könnten diese zu einer Versauerung und Schwermetallfreisetzung führen.

Es bleibt festzuhalten, dass die betriebsbedingte Wasserhaltung von untertägigen PSW-Anlagen mit erheblichen Umweltkonflikten verknüpft sein kann, die sehr aufwendige, ggf. auch die Wirtschaftlichkeit eines PSW bedrohende Reinigungsmaßnahmen erforderlich macht. Um die Genehmigungsfähigkeit eines geplanten PSW zu prüfen, wird daher empfohlen, sehr frühzeitig Wasserproben aus den tieferen Stollen des Bergwerks zu analysieren, um auf dieser Grundlage belastbare Aussagen zur späteren Wasserhaltung und der damit erforderlichen Grubenwasserreinigung abzuleiten.

#### Möglichkeiten zur Reinigung der Grubenwässer

Schadstoffbelastete Gruben- und Flutungswässer finden sich an sehr vielen betriebenen und stillgelegten Bergwerksstandorten (Schneider et al. 2000). Die Reinigung dieser Einleitungswässer ist eine umfänglich erprobte Aufgabe, die verschärft dann ins Blickfeld gerät, wenn stillgelegte Gruben wieder aktiviert werden und im Zuge der erforderlichen Wasserhaltungsmaßnahmen mit erhöhten Schadstofffrachten zu rechnen ist. Abhängig von den standörtlichen Gegebenheiten und der Schadstofffracht des Wassers stehen unterschiedliche konventionelle und passive Techniken zur Reinigung von Grubenwässern zur Auswahl (Schneider et al. 2000).

#### **Konventionelle Verfahren**

- physiko-chemische Methoden
- chemische Wasserbehandlungsverfahren
- elektrochemische Verfahren
- Mikrobiologische Verfahren

#### **Passive Verfahren**

- Reaktive Wände
- Constructed Wetlands (Feuchtraumbiotope)
- pH-wandelnde Systeme
- Injektionsverfahren



„Bei der konventionellen, aktiven Behandlung von Grubenwasser wird die Reinigungsleistung künstlich kontrolliert, indem die Durchflussmengen eingestellt, Chemikalien dosiert und die physischen Betriebsparameter angepasst werden“ (Wolkersdorfer und Younger 2002). Dieses führt zwar zu einer optimalen Reinigung der Gewässer, bringt aber auch (laufend) hohe Kosten mit sich. Für die Reinigung von Flutungs- und Grubenwässern wird angestrebt, Verfahren anzuwenden, die möglichst in-situ ablaufen, naturnah und kostengünstig sind. Von großem Vorteil ist es, wenn diese Techniken energieautark sind und im Idealfall mehr oder weniger wartungsfrei ablaufen können. Aus diesem Grund bieten sich Methoden zur passiven Grubenwasserreinigung an. Im Folgenden werden die folgenden in Großbritannien erprobten und von Wolkersdorfer und Younger (2002) als geeignet beschriebenen, passiven Verfahren skizziert (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7):

- Aerobe Feuchtgebiete mit Oberflächenabfluss ("Konstruierte Pflanzenreinigungsanlage"; "Phytoremediation")
- Anaerobe Kompostfeuchtgebiete mit signifikantem Oberflächenabfluss
- Gemischte Kompost / Karbonatsysteme mit signifikantem Untergrundabfluss ("reduction and alkalinity producing systems": RAPS-Systeme)
- Reaktive Barrieren im Untergrund zur Behandlung von sauren, metallreichen Grundwässern (Reaktive Wände)
- Geschlossene Karbonatlösungssysteme für die Entfernung von Zink aus alkalischen Wässern
- Groboberflächenfilter ("roughing filter") für die aerobe Behandlung eisenhaltiger Grubenwässer

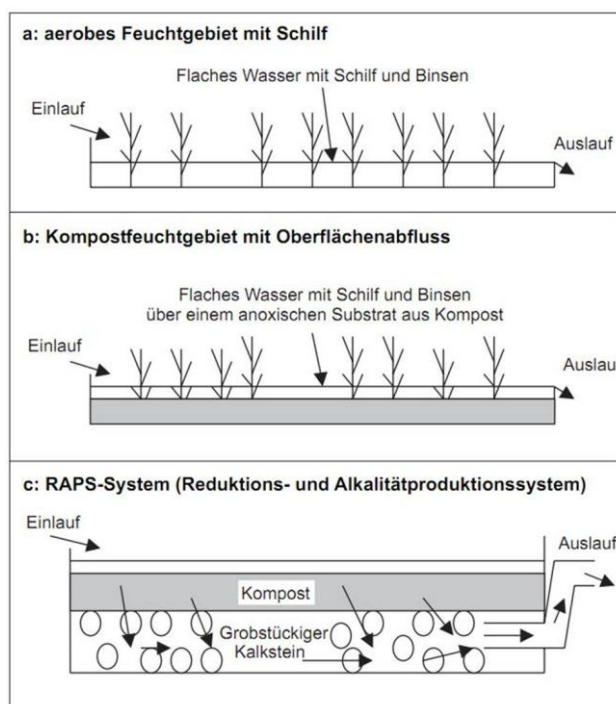
Aerobe Feuchtgebiete (vgl. Abbildung 6a) dienen der Behandlung von alkalischem Grubenwasser mit einem pH-Wert von ca. 6,5. Metalle wie Eisen, Mangan, Aluminium und Zink werden mit Hilfe von Pflanzen wie Schilfrohr und Binsen sedimentiert. Das aerobe Feuchtgebiet, ein bepflanzter Flachwasserkörper von 15 – 50 cm, wird auf unebenem, neigungsarmen Grund angelegt, um einen abwechslungsreichen Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu schaffen und die Fließgeschwindigkeit des Wassers gering zu halten. Für die Gewährleistung uneingeschränkter Pflanzenwachstums sollte genug Sonneneinstrahlung gegeben sein. Die Fläche des Feuchtgebietes errechnet sich aus der Eisenfällungsrate dieser Methode. Durch gegebenenfalls über die Fläche verteilte Einfließpunkte gelangt das Grubenwasser gleichmäßig auf das Feuchtgebiet. Die Pflanzen verlangsamen den Fluss, was der, mit niedriger Geschwindigkeit ablaufenden, Metallfällung zu Gute kommt. Zudem bieten sie den biochemisch aktiven Mikroorganismen eine große Besiedelungsoberfläche und geben Humin- und Fulvinsäuren frei, die als Bindungspartner fungierend die Fällungsreaktionen begünstigen (Becker 2003).

Anaerobe oder Kompostfeuchtgebiete (vgl. Abbildung 6b) unterscheiden sich von den aeroben durch eine 30 – 60 cm dicke anoxische Schicht organischen Materials (Pilzkompost, Dung, Rindenmulch oder Stroh). Die Kompostschicht muss für gute Durchlässigkeit locker aufgebracht sein, aus alkalischem Material bestehen, sulfatreduzierende Bakterien beherbergen und zur Vermeidung der Oxidation sulfidischer Feststoffe immer unter Wasser stehen. Eine Bepflanzung ist nicht zwingend notwendig. In Kompostfeuchtgebieten herrscht Konkurrenz zwischen verschiedenen Redoxreaktionen, die teils gut, teils schlecht für die Wasserqualität sind. Meist

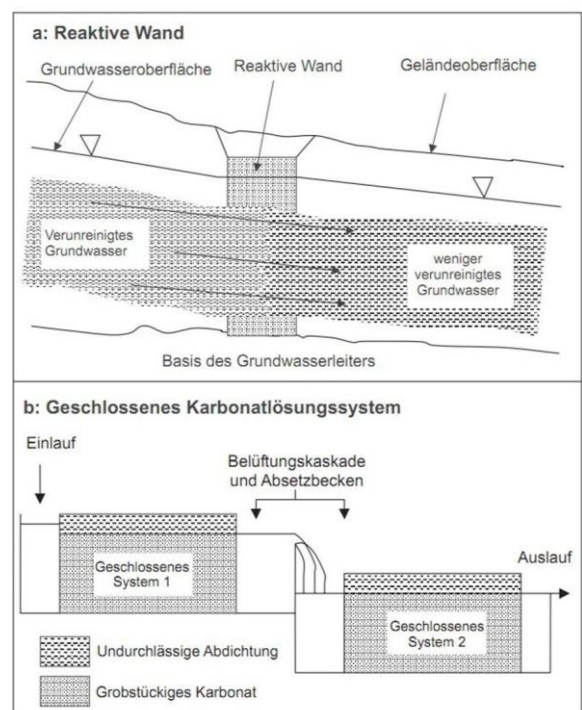
überwiegen zwar die anaeroben Reaktionen, eine mit 20% relativ niedrige Entfernungsrates der Sulfatladung des Wassers bedingt aber trotzdem eine gewisse Unsicherheit dieser Feuchtgebietstechnik. Nur wenn andere Alternativen nicht praktikabel sind, ist diese anzuwenden. Durch bakterielle Sulfatreduktion wird hier Grubenwasser mit einem pH von unter 5,6 von Schwermetallen gereinigt (Becker 2003).

Das RAPS-System (Reduktions- und Alkalitätproduktionssystem, vgl. Abbildung 6c), ein gemischtes Kompost/Karbonatsystem ist die direkte Alternative zum Kompostfeuchtgebiet. Auch hier werden saure Grubenwässer behandelt. Über einer mindestens 0,5 m mächtigen anoxischen Kalksteinschicht in einem Becken verdichteten Tons oder künstlich eingebrachter PVC-Folie befindet sich eine ebenso dicke Kompostschicht mit bereits beschriebenen Eigenschaften (siehe anaerobes Feuchtgebiet). Durch die Ausnutzung eines hydraulischen Gradienten von mindestens 1,5, besser 2,5 m, also eines kompletten gravitativen Wasserdurchflusses durch beide Systemelemente, besitzt diese Methode bei gleicher Fläche größere Behandlungseffizienz als die des Kompostfeuchtgebiets. Im Karbonataggregat kommt es durch die Karbonatlösung zum Verbrauch an Protonen und dadurch zum Anstieg des pH-Wertes und Bildung von Hydrogencarbonat. Das Ergebnis ist eine  $\text{CaCO}_3$ -Alkalität zwischen 150 und 300 mg/l. Reicht dies nicht für die Neutralisation des Wassers, werden mehrere RAPS-Systeme mit zwischenliegenden Sedimentationsteichen (für die Eisenhydroxid-Ausfällung) hintereinander geschaltet (Becker 2003).

Bei der Wasserreinigung durch reaktive Wände (vgl. Abbildung 7a) durchfließt der Grundwasserkörper das kontaminierte Wasser eine permeable Barriere, diese reagiert mit den Kontaminanten und verringert ihre Konzentration (Wolkersdorfer 2006).



**Abbildung 6:** Schematische Darstellung von in Großbritannien erprobten passiven



**Abbildung 7:** Schema einer reaktiven Wand

Wasserreinigungssystemen (aus Younger 2000)

für saures, metallionenreiches Grundwasser (a) und eines geschlossenen Karbonatlösungssystems für alkalische, zinkreiche Grubenwässer (b) (aus Wolkersdorfer und Younger 2002)

Geschlossene Karbonatlösungssysteme eignen sich besonders bei netto alkalischen Grubenwässern mit erhöhten Zinkgehalten. Bei dieser Methode fließt das belastete Wasser durch luftdicht verschlossene Karbonatbettungen (vgl. Abbildung 7b), in denen der Partialdruck über dem der Atmosphäre liegt, sodass Zink als das Karbonat Smithonit ( $\text{ZnCO}_3$ ) ausfällt. Beim Kontakt mit Luftsauerstoff fällt erneut Karbonat aus (hydratisiertes Zinkkarbonat,  $\text{Zn}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ). Diese Systeme müssen nach einigen Stunden Betriebszeit durchlüftet werden, um den  $\text{CO}_2$ -Partialdruck wieder zu heben (Wolkersdorfer und Younger 2002).

Großoberflächenfilter eignen sich zur Entfernung von Eisen aus netto-alkalischen Grubenwässern und werden auch zum Filtern von mit Sedimenten belasteten Wässern verwendet (Younger 2000). Bei den sogenannten "roughing filter" durchfließt das kontaminierte Wasser mit Steinen gefüllte Kanäle (es können auch andere Materialien mit großer Oberfläche verwendet werden), in denen Eisen ( $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen) oxidiert werden. In einem Zwei-Stufen-Prozess wird hierbei die natürliche Ausfällung ausgenutzt. Diese Methode kann eine effektive Alternative zu aeroben Feuchtgebieten darstellen, insbesondere, wenn aufgrund fehlender Fläche kein Feuchtgebiet eingesetzt/angelegt werden kann (Tamme 2002).

Grundsätzlich ist jede der genannten Methoden den spezifischen Grubenwassertypen und den speziellen hydraulischen Bedingungen anzupassen (Wolkersdorfer und Younger 2002). Um eine geeignete Reinigungsanlage aufzubauen, können auch verschiedene Systeme miteinander kombiniert werden. Ist das Wasser sehr stark mit Schwermetallen kontaminiert, müssen auch passive Systeme mit aktiven kombiniert werden (Wolkersdorfer und Younger 2002, S.72). Passive Reinigungsanlagen sind flächenintensiv. Als ein ggf. projektgefährdender Faktor ist neben den Kosten daher auch der Flächenbedarf für die erforderliche Reinigungsanlage frühzeitig zu klären.

### 2.3.6 Potenzielle Auswirkungen auf das Grundwasser

Untertägige PSW befinden sich in der Regel mit dem unteren Speicherbecken unterhalb des natürlichen Grundwasserspiegels. Insofern ist zu untersuchen, ob durch den Bau oder Betrieb der Anlage Beeinträchtigungen des Schutzgutes Grundwasser auftreten können. Zum Einen ist der chemische Zustand des Grundwassers zu beachten, zum Anderen der mengenmäßige Zustand.

Die Anforderungen für einen "*guten chemischen Zustand des Grundwassers*" sind in der Grundwasser-Richtlinie aus dem Jahr 1980 definiert (80/68/EWG). Sie wird im Dezember 2013 aufgehoben und von der WRRL und der Grundwasser-Tochterrichtlinie ersetzt. Dabei werden auch die Kennwerte der Nitrat-Richtlinie (91/676/EG), der Pestizid-Richtlinie (91/414/EWG) und der Abfalldeponie-Richtlinie (1999/31/EG) integriert.

Die Umsetzung der Grundwasser-Tochterrichtlinie (2006/118/EG) in deutsches Recht erfolgt durch eine Grundwasser-Verordnung (GrwV) auf Bundesebene.

**Tabelle 3:** Schwellenwerte anorganische Parameter (Anlage 2, GrwV vom 09.11.2010)

Substanz	Einheit	Schwellenwert GrwV
As	µg/L	10
Cd	µg/L	0,5
Pb	µg/L	10
Hg	µg/L	0,2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0,5
Cl <sup>-</sup>	mg/L	250
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	240

Im Betrieb eines untertägigen PSW wird im Zuge der Wasserhaltung ständig das eindringende Wasser abgepumpt, so dass es zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels kommt. Da der Wasserstrom vom Grundwasser in ein Oberflächengewässer führt und nicht von der Grube ins Grundwasser, ist nicht zu befürchten, dass es zu einer chemischen Verunreinigung des Grundwassers kommt.

Die erforderliche Wasserhaltung kann allerdings den "*mengenmäßigen Zustand des Grundwassers*" verändern. Nach § 4 GrwV ist der mengenmäßige Grundwasserzustand gut, wenn

1. die Entwicklung der Grundwasserstände oder Quellschüttungen zeigt, dass die langfristige mittlere jährliche Grundwasserentnahme das nutzbare Grundwasserdargebot nicht übersteigt und dementsprechend
2. anthropogen bedingte Änderungen des Grundwasserstandes zukünftig nicht dazu führen, dass
  - a) die Bewirtschaftungsziele nach §§ 27 und 44 des Wasserhaushaltsgesetzes für die Oberflächengewässer, die mit dem Grundwasserkörper in hydraulischer Verbindung stehen, verfehlt werden,
  - b) der Zustand dieser Oberflächengewässer sich im Sinne von § 3 Nummer 8 signifikant verschlechtert,
  - c) Landökosysteme, die direkt von dem Grundwasserkörper abhängig sind, signifikant geschädigt werden und
  - d) als Folge von anthropogen bedingten, räumlich und zeitlich begrenzten Änderungen der Grundwasserfließrichtung Salzwasser oder Schadstoffe zuströmen können.

Die Wasserhaltung bei Betrieb eines untertägigen PSW kann im ungünstigen Fall den Grundwasserspiegel absenken, bodenverfügbares Wasser verringern und damit zu einer Schädigung von Landökosystemen beitragen. Der Grad der Schädigung hängt zum einen von der Durchlässigkeit der Gesteinsschichten ab, und zum anderen davon, wie lange das Bergwerk stillgelegt war, da auch im Förderbetrieb bereits eine Wasserhaltung eingerichtet war.

Gemäß § 47 WHG 2010 hat die zuständige Behörde das Grundwasser so zu bewirtschaften, dass jeder signifikante und anhaltende steigende Trend umgekehrt wird. Die zuständige Behörde veranlasst die erforderlichen Maßnahmen zur Trendumkehr, wenn Gefahren für die Qualität der aquatischen oder terrestrischen Ökosysteme, für die menschliche Gesundheit oder für potenzielle oder tatsächliche legitime Nutzungen der Gewässer zu besorgen sind.

Allerdings hat die Behörde auch die Möglichkeit nach § 8 GrwV, Grundwasserkörper mit weniger strengen Zielen zu bestimmen, u.a. auch im Hinblick auf Landökosysteme. Dann würde die Wasserhaltung im Betrieb eines untertägigen PSW auch keine Maßnahmen nach sich ziehen und zulässig sein.

### 2.3.7 Potenzielle Auswirkungen auf Klima und Luft

Die grundsätzliche Aufgabe von untertägigen PSW besteht darin, Strom aus erneuerbaren Energien im Bedarfsfall zu speichern und dadurch das Angebot zu verstetigen. Aus diesem Grund dienen untertägige PSW dem Klimaschutz und weisen positive Auswirkungen auf das Schutzgut Klima auf.

Schädliche Luftverunreinigungen können sich im Einzelfall im Betriebszustand ergeben, wenn nach dem Leerpumpen der nach Stilllegung gefluteten Gruben die Grubenwände erneut der Verwitterung ausgesetzt sind und ggf. schädliche Gase oder Stäube, bspw. in Form von Radon oder Staub von Schwermetallen entstehen.

### 2.3.8 Potenzielle Auswirkungen auf die Landschaft

Zu den Schutzgütern nach dem UVP-Gesetz sowie dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) zählt auch die Landschaft bzw. das Landschaftsbild. Somit ist neben der ökologischen auch eine ästhetische Komponente bei der Planung einer untertägigen PSW-Anlage zu prüfen. Im BNatSchG wird der Begriff Landschaftsbild mit den Aspekten Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft beschrieben. Da diese Aspekte subjektiv sehr unterschiedlich empfunden werden können, ist die Einschätzung der „Schönheit von Natur und Landschaft“ durch die Rechtsprechung insoweit eingegrenzt worden, als *„auf das Urteil eines für die Schönheiten der natürlich gewachsenen Landschaft aufgeschlossenen Durchschnittsbetrachters“* (BVerwG, NuR 1991, S. 124, 127) abgestellt wird. Die Fachbeurteilung kann damit dem Andersempfinden Einzelner durchaus entgegenstehen. Angesichts der nur teilweise objektivierbaren Kriterien erfolgt die Bewertung der Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes lediglich mit Hilfe qualitativer Maßstäbe und in grober Skalierung.

Die Empfindlichkeit einer Landschaft gegenüber visueller Beeinträchtigung hängt stark von ihrer Einsehbarkeit ab und kann je nach Ausprägung z. B. nach Relief, Strukturiertheit und natürlichen „Sichtschutzelementen“ (z. B. Gehölzbeständen) sehr unterschiedlich sein. Exponierte, weiträumige und offene Lagen weisen in der Regel eine besonders hohe Empfindlichkeit auf (GASSNER, WINKELBRANDT 2005, S. 236). Ist in einem Raum bzw. an einem geplanten Projektstandort aus landschaftsästhetischer Sicht bereits eine deutliche Überprägung mit landschaftsfremden, technischen oder baulichen Einrichtungen gegeben, kann bei Hinzufügen eines vergleichbaren Projekts von einer deutlich verringerten, ggf. nicht erheblichen Beeinträchtigung ausgegangen werden (ebd., S. 237).

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass untertägige Pumpspeicherkraftwerke landschaftlich verträglicher sind als oberirdische Kraftwerke und im Hinblick auf das Landschaftsbild eine geeignete Alternative darstellen. Die Abbildung 8 bis Abbildung 11 zeigen oberirdische Pumpspeicherkraftwerke wie beispielsweise das Koepchenwerk in Herdecke, das Pumpspeicherwerk in Wendefurth im Harz (Sachsen-Anhalt) und in Geesthacht bei Hamburg. Die Fotografien verdeutlichen, dass von den oberirdischen technischen Anlagen, insbesondere von Rohrleitungen und Turbinenhäusern, eine erhebliche Beeinträchtigung



des Landschaftsbildes ansonsten naturnah geprägter Landschaften ausgeht. Demgegenüber passt sich das halb untertägige Pumpspeicherwerk Goldisthal in Thüringen relativ gut in die Landschaft ein (s. Abbildung 11). Eine zerschneidende Wirkung durch technische Anlagen ist hier nicht gegeben. Auch das künstlich angelegte Oberbecken harmonisiert mit der Umgebung. Bei einem untertägigen PSW, bei dem sich beide Speicherbecken unterhalb der Oberfläche befinden, ist insofern noch günstiger zu beurteilen als Goldisthal, da hierbei kein Speichersee oberirdisch angelegt werden muss.

Die mögliche Betroffenheit von Landschaftsbildaspekten ist im Einzelfall zu klären. Obertägige Bauten untertägiger PSW-Anlagen dürften sich gut der Eigenart des Landschaftsbildes anpassen lassen, da es sich hierbei um die Nachnutzung einer ortstypischen Raumnutzung handelt. In diesem Fall werden die charakteristischen Merkmale der Landschaft kaum verändert.

Unter den Gesichtspunkten des Landschaftsbildes wird es sinnvoll sein, den Strom mittels eines Erdkabels und nicht mittels einer Freileitungstrasse zu- oder abzuleiten.



**Abbildung 8:** Koepchenwerk (Herdecke/NRW)

Quelle: [www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/77042/data/34465/blob.png](http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/77042/data/34465/blob.png)



**Abbildung 9:** Rohrleitung Pumpspeicherwerk in Wendefurth (Sachsen-Anhalt/Harz)  
 Quelle: <http://www.ruebeland.com/r100/talsp/psw002.jpg>



**Abbildung 10:** Pumpspeicherwerk in Geesthacht  
 Quelle: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Pumpspeicherwerk\\_Geesthacht.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Pumpspeicherwerk_Geesthacht.jpg)





**Abbildung 11:** Untertägliches Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal (Thüringen)

Quelle: [www.goldisthal.de](http://www.goldisthal.de)

### 2.3.9 Potenzielle Auswirkungen auf Kultur- und sonstige Sachgüter

Kultur- und Sachgüter sind durch den Menschen gebaute Objekte und Objektensembles, die sowohl einen ideellen als auch einen kulturhistorischen Wert aufweisen. Laut Gassner und Winkelbrandt (2005) sind Kulturgüter im Sinne der UVP „Zeugnisse menschlichen Handels ideeller, geistiger und materieller Art, die als solche für die Geschichte des Menschen bedeutsam sind.“ Ihnen werden ebenfalls die im Bezug zum Objekt stehenden Flächen und Landschaftsteile zugeschrieben, die durch die Objektnutzung verändert und geprägt wurden und möglicherweise gegenwärtig noch beeinflusst werden. Bei der Definition von Kulturgütern spielen auch gesellschaftliche und regional geprägte Werte eine Rolle. So fragt sich u.a. wie stark das Objekt als Aushängeschild der Region fungiert, und in welchem Maße es identitätsstiftend ist. Die Definition der Kulturgüter ist demnach sehr von der regionalen Einbettung abhängig.

Kulturgüter können „Baudenkmale, schutzwürdige Bauwerke sowie Ensembles, einschließlich ihres Umfeldes“ sein. Sachgüter sind „Gebäude, Bausubstanzen unterschiedlicher Nutzungsbestimmungen“ (GASSNER, WINKELBRANDT 2005). Stark technisierte Kulturdenkmale sind die so genannten „Industriedenkmale“.

Verschiedene Eigenschaften eines Kultur- oder Sachgutes können durch bauliche Maßnahmen auf dem Gelände und durch Neunutzungen der integrierten Gebäude gestört werden und den Wert des Kulturgutes herabsenken. Der Grundsatz des Erhalts schützenswerter Kultur-, Bau und Bodendenkmale (vgl. § 2 Nr.14 BNatSchG) wird gefährdet, wenn die Erlebbarkeit und Zugänglichkeit des Objektes eingeschränkt wird, Sichtbeziehungen und Sichtachsen verändert werden oder verloren gehen und eine visuelle oder akustische Störung auftritt. Einige dieser Faktoren können beim Bau eines untertägigen

PSW temporär oder dauerhaft auftreten und es muss im Einzelfall abgewogen werden, ob die Auswirkungen tragbar sind.



**Abbildung 12:** Industriedenkmal; Fördermaschinenhaus mit Hauptschacht (Erzbergwerk Grund)

Quelle: [www.industriedenkmal.de](http://www.industriedenkmal.de)

Im Falle alter Bergwerke sind prägende Bauwerke und Einrichtungen aus der Förderzeit des Bergwerks zu erhalten, insbesondere sind die Fördertürme, Rückhaltebecken und Verarbeitungsgebäude als Industriedenkmale zu behandeln und zu schützen. Die Objekte sollen in ihrem Zustand, ihrer regionalen Stellung, ihrer Zugänglichkeit und ihrer Erlebbarkeit möglichst wenig oder gar nicht beeinflusst werden, um den Wert des Objektes beizubehalten.

Für die meisten untertägigen PSW ergeben sich keine Konflikte mit Kultur- und Sachgütern, da gerade bestehende Infrastrukturen und Industriedenkmale durch moderne Technik nachgenutzt werden.

### 3 Umweltauswirkungen am Modellbergwerk Bad Grund

#### 3.1 Einleitung

Als erstes Anwendungsbeispiel für untertägige Pumpspeicherkraftwerke dient das Erzbergwerk Grund im Landkreis Osterode im Harz (s. Abbildung 13). Im Folgenden wird angenommen, dass für die Genehmigung eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich ist. Im Hinblick auf die Unterlagen nach § 6 UVPG wird daher überschlägig eingeschätzt, ob erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen bzw. erhebliche Beeinträchtigungen durch das Vorhaben eintreten können.



**Abbildung 13: Bergwerksgelände Bad Grund (BARTHELS 1992)**

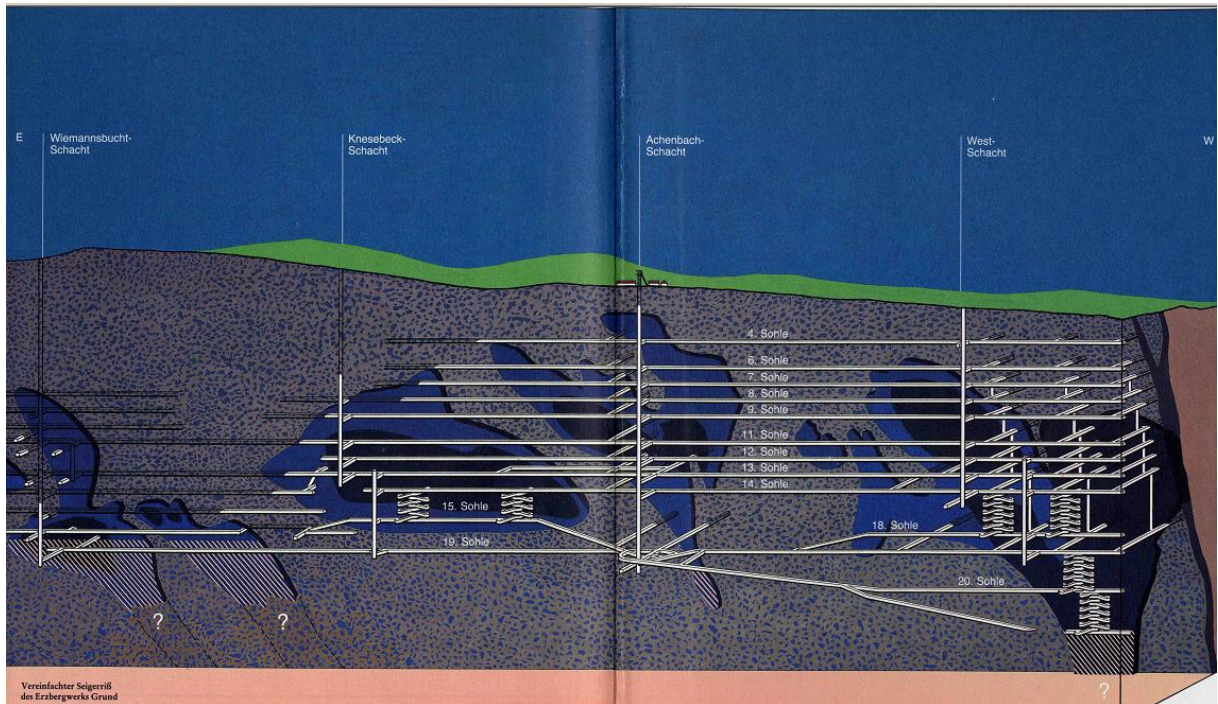
Das Erzbergwerk Grund entstand 1923 aus der Zusammenlegung der ursprünglich eigenständigen Gruben Hilfe Gottes (Betriebsbeginn 1831) und Bergwerkswohlfahrt (Betriebsbeginn 1819).

Das Grubengebäude war von Westen nach Osten durch den Westschacht (Teufe 518 m), den Achenbachschacht (Teufe 719 m), den Knesebeckschacht (Teufe 499 m) und den Wiemannsbuchtschacht (Teufe 761 m) aufgeschlossen. Das Bergwerk wurde im östlichen Teil durch den Tiefen-Georg-Stollen, der im Grundner Tal beginnt und vollständig durch den Ernst-August-Stollen darunter durchörtert. Die Abbaue reichten zuletzt bis zur 21. Sohle in 900 m Tiefe. Die Hauptfördersohle war die 19. Sohle (ca. 700 m unter Tage).

Das Erzbergwerk erstreckte sich in Ost/West-Richtung über eine Länge von ca. 5 km. Aus den Gruben „Hilfe Gottes“ und „Bergwerkswohlfahrt“ bzw. dem späteren Erzbergwerk Grund wurden etwa 19 Mio. Tonnen silberhaltige Blei-Zink-Erze gefördert (BARTHELS 1992).

Am 28. März 1992 wurde die Förderung wegen des Verfalls der Metallpreise auf dem Weltmarkt eingestellt. Nach der Betriebseinstellung erfolgten der Rückbau der maschinellen Einrichtungen und der Abtransport der Fahrzeuge aus der Grube. Der Achenbachschacht wurde mit einer Betonplombe verschlossen. Als die Wasserhaltung eingestellt wurde, liefen die Stollen bis zur 4. Sohle (ca. 144 m) voll Wasser, wo sich ein Überlauf in den Ernst-August-Stollen befindet und das Kluftwasser abgeführt wird (Wikipedia 2009).





**Abbildung 14: Stollen des Erzbergwerks Grund (BARTHELS 1992)**

### 3.2 Vorhabensbeschreibung

Zur Realisierung der untertägigen PSW-Anlage ist ein funktionsfähiger Schacht erforderlich. Nach gegenwärtigem Stand handelt es sich dabei entweder um den Wiemannsbuchtschacht (Durchmesser ca. 4 m, Teufe ca. 940 m) oder den Achenbachschacht (rund, Durchmesser ca. 5 m, Teufe ca. 945 m). Beide sind derzeit mit einer Betonplombe verschlossen. Da nach gegenwärtigem Stand nicht entschieden ist (5.1.2010), welcher Schacht für die Installation des PSW besser geeignet ist, erfolgt die Ersteinschätzung der Umweltauswirkungen für beide Werksgelände.

Wir gehen nach Auskunft von Herrn Lampe (Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie, Tel. am 5.1.2010) davon aus, dass obertägige Gebäude für die PSW-Anlage die Fördermaschine, das Kontrollgebäude für die Becken, die Schaltwarte mit dem Transformator, die Hochspannungsanlage, die Freileitungen sowie die Zufahrtswege erforderlich sind.

Weiterhin nehmen wir an, dass das Oberbecken im Bereich der oberen vier Sohlen gebaut wird, aber aufgrund des eingebrachten Versatzes im Nebengestein neu aufgefahren werden muss. Die Sohlen sind die 100<sup>er</sup> Sohle, die 1. Strecke (364 m), die 2. Strecke (370 m) und die 3. Strecke (465 m).

Im Hinblick auf das Ausbruchmaterial besteht folgende Möglichkeit der Beseitigung. Für das Werksgelände des Wiemannschachts existiert noch eine alte Genehmigung, die vorhandene Halde durch den Ausbruch zu erweitern. Eine Alternative besteht darin, das Ausbruchmaterial in stillgelegte Bergwerke untertage zu verbringen und auf diese Weise auch zur Standsicherheit beizutragen.

Das Unterbecken kann im Bereich der untersten Sohlen angelegt werden (Lampe, s.o.). Dies sind die 19. Sohle (914 m), die sich auf etwa 5 km erstreckt, die 20. Sohle, die 21. Sohle und

die Subsohle (unter der 21. Sohle, 942 m). Das Unterbecken kann entweder durch Nachnutzung der alten Grubenbaue (Streckenquerschnitt etwa 20 m<sup>2</sup>) oder durch eine Neuauffahrung im Nebengestein gebaut werden. Die Pumpen und Turbinenkammer werden im Bereich der Subsohle im Nebengestein gebaut, 30 bis 35 m unter dem Unterbecken.

Die Grube verfügt über zwei Wasserlösungsstollen, den Tiefen-Georg-Stollen (im Bereich der 100 m Sohle) und dem Ernst-August-Stollen (Teufe ca. 406 m). Beide Stollen entwässern nach über Tage. Wir gehen davon aus, dass das Wasser zum Befüllen des Kraftwerkes dem Ernst-August-Stollen entnommen werden kann, dieser führt zeitweise recht viel Wasser. Die Trinkwassergewinnung für Bad Grund erfolgt aus oberflächennahen Magdeburger-Stollen der ehemaligen Gruben, der mit dem Bergwerk in keinem Kontakt steht.

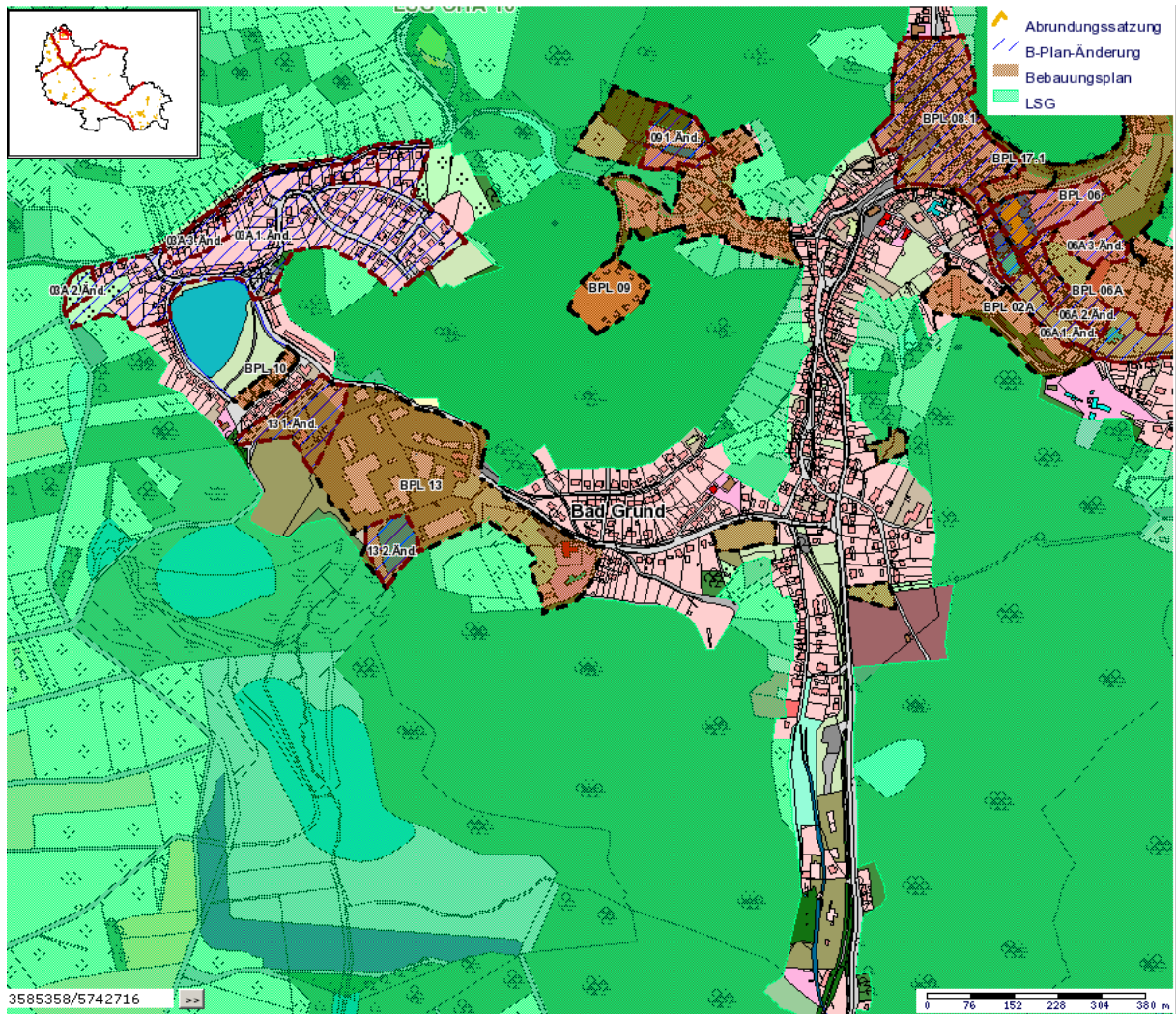
Das Betriebsgelände des Wiemannsbuchter Schachtes befindet sich östlich, außerhalb von Bad Grund im Bereich des Langetales (s. Abbildung 15). Die Zuwegungen sind vorhanden und auch für Schwerverkehr passierbar. Das Werksgelände ist als Bebauungsplan 14 ausgewiesen (Bad Grund 1994). Die ehemaligen Werkshallen und Bürogebäude befinden sich noch heute auf dem Gelände. Daher ist auch deren Nachnutzung für das untertägige PSW möglich. Dort steht auch noch der Förderturm, der für die Wartung der Anlage wieder in Betrieb genommen werden kann.



**Abbildung 15:** Werksgelände Wiemannsbuchter Schacht Bad Grund (Google Earth)

Das Betriebsgelände des Achenbachschachtes befindet sich im westlichen Teil von Bad Grund. Hier wurde 1995 der Bebauungsplan Nr. 13 aufgestellt (Bad Grund 1995). Das Plangebiet hat eine Größe von ca. 0,75 ha. Eine zweite Änderung erfolgte im Jahr 2003, um einen Feuerlöschteich in der ehemaligen Reinigungsanlage des Bergwerks anzulegen (s. Abbildung 16).





**Abbildung 16:** Bebauungsplangebiet 13 Gottes Hilfe Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2009)

Die Grundstücke des B-Plangebiets sind verkauft und größtenteils bebaut (Beck, Leiter Bauwesen, SG Bad Grund, Tel. am 21.12.2009). Die Kläranlage, die heute als Feuerlöschteich dient, wurde vor Jahren saniert (Bad Grund, Begründung zum Bebauungsplan Nr. 13, 2003). Auf dem Gelände sind einige Firmen angesiedelt, die die ehemaligen Schachtgebäude nutzen. Zu diesen zählt das Abschlepp- und Verschrottungsunternehmen Pohl. Das Betriebsgelände ist auch für Schwerverkehr gut zu erreichen. Auf dem ehemaligen Werksgelände des Achenbachschachts können die ehemaligen Werkshallen für das PSW nachgenutzt werden.

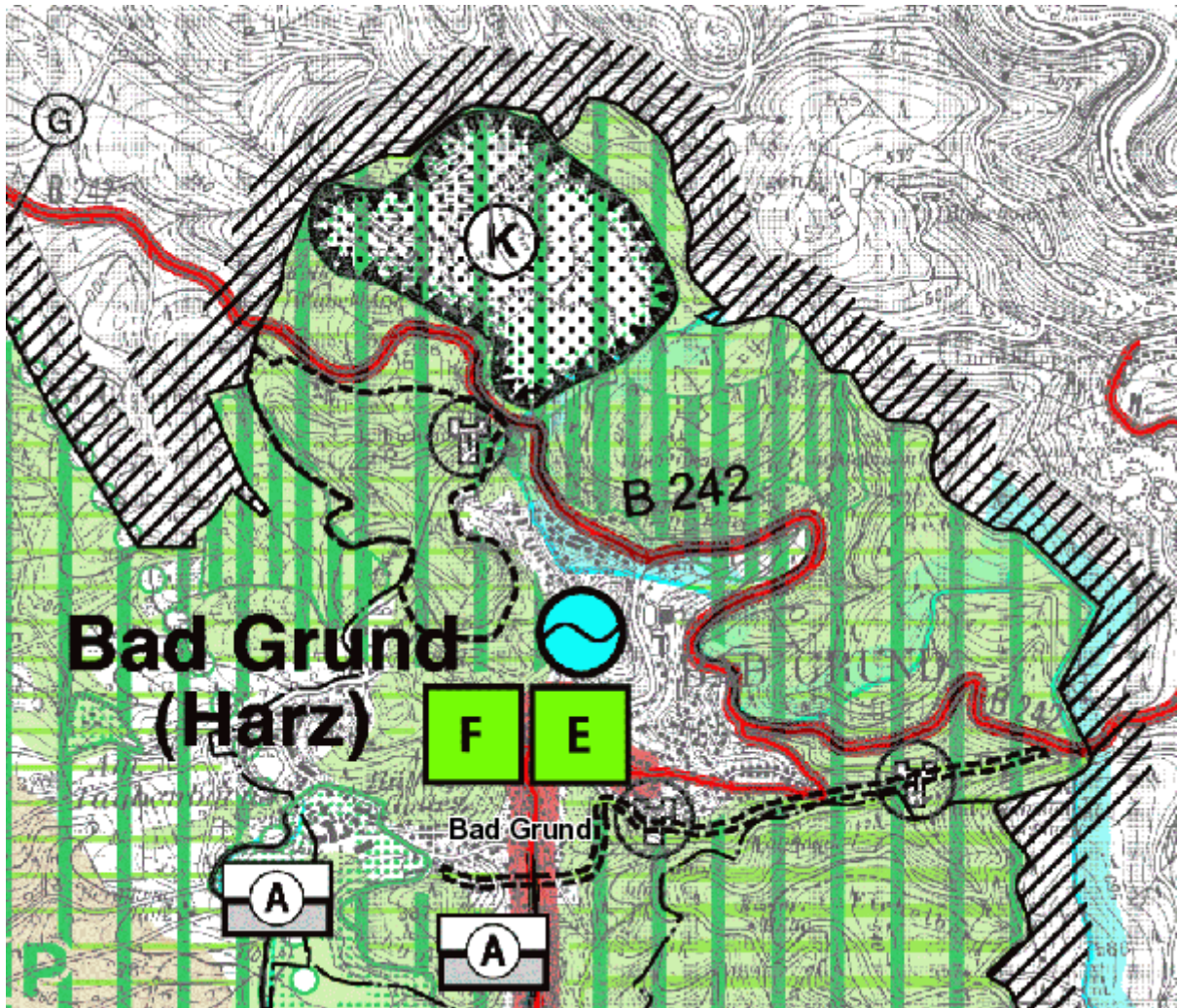
### 3.3 Flächenbezogene Restriktionen (Bad Grund)

#### 3.3.1 Ziele der Raumordnung und Regionalplanung

Für die Samtgemeinde Bad Grund existiert das Regionale Raumordnungsprogramm (RRÖP) Osterode am Harz von 1998 in Text und Karte (s. Abbildung 17).

Demnach ist der gesamte unbebaute Bereich als „Vorranggebiet für Natur und Landschaft“ ausgewiesen (senkrecht grün gestreift). Das Vorranggebiet ist in diesem Bereich mit dem Landschaftsschutzgebiet Harz weitgehend identisch.





**Abbildung 17:** Festsetzungen des Regionalen Raumordnungsplans für Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2010)

Nach dem RROP Osterode am Harz bestehen Vorranggebiete für Natur und Landschaft sowohl aus vorhandenen und geplanten Naturschutzgebieten sowie aus Flächen, die deren Kriterien erfüllen, als auch aus besonders geschützten Biotopen, weiterhin aus Naturdenkmälern und dem Nationalpark. Sie enthalten zudem die an den Bund gemeldeten und meldefähigen FFH-Gebiete, soweit sie nicht von der Genehmigung ausgenommen sind (RROP 1998a, D 2.1 10).

Nördlich von Bad Grund ist der „Vorrangstandort für übertägige Anlagen zur Gewinnung tiefliegender Rohstoffe (Kalk)“ festgesetzt. Die Fläche am Winterberg ist 110 ha groß und als Folgenutzung sind Mischwald, Felsen, Sukzession vorgesehen (RROP 1998a, Ziele D 3.4 03).

Durch grundwasserschonende Abbauverfahren und Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nur nach dem Stand der Technik soll beim Kalksteinabbau bei Bad Grund auch die langfristige Vereinbarkeit der Rohstoffgewinnung mit der Grundwassergewinnung aus dem Iberg herbeigeführt werden (ebd., D 3.4 07).

Durch den Bau und Betrieb des untertägigen PSW kommt es aufgrund der Entfernung weder zu einer Beeinträchtigung des Vorranggebiets für Natur und Landschaft noch des Vorrangstandortes zur Rohstoffgewinnung.



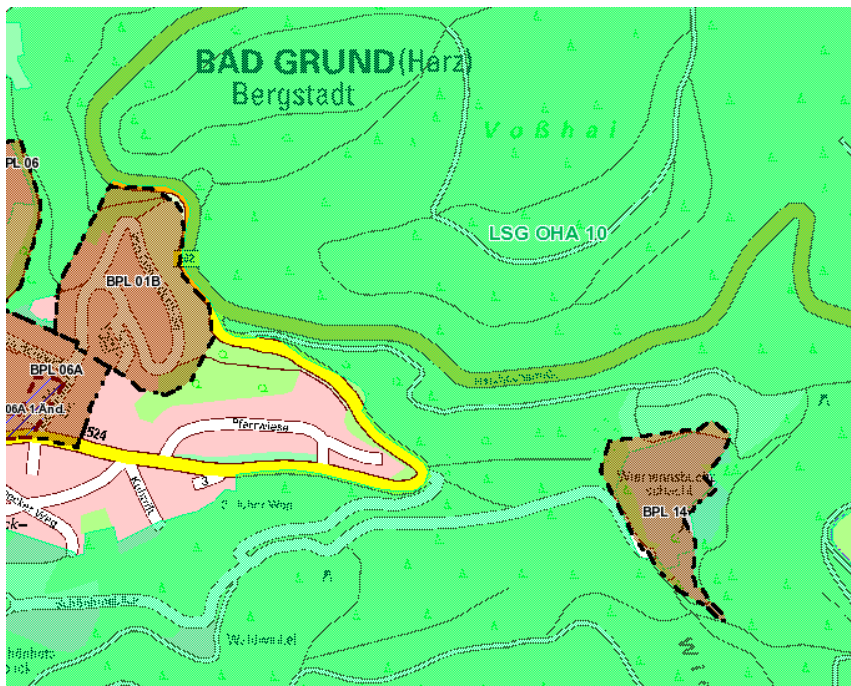
### 3.3.2 Landschaftsschutzgebiete (§ 26 BNatSchG 2010)

Betrachtet man bezüglich des Modellbergwerks Bad Grund die Werksgelände des Wiemannsbucher Schachts und des Achenbachschachts, wird deutlich, dass jeweils das Landschaftsschutzgebiet Harz angrenzt.

Die oberirdischen Gebäude des PSW können entweder in dem Bebauungsplangebiet 13 Hilfe Gottes oder 14 Wiemannsbucht errichtet werden. Durch die Errichtung der Stromleitung kann es jedoch zu Beeinträchtigungen des Landschaftsschutzgebiets Harz kommen.

Das **Landschaftsschutzgebiet Harz** weist eine Größe von 36.712 ha auf und bedeckt damit ungefähr die nordöstliche Hälfte des Landkreises Osterode am Harz, der 63.599 ha groß ist.

Das Landschaftsschutzgebiet (LSG) wird bestimmt durch die Schönheit und Naturnähe des überwiegend mit Wald bestandenen Berglandes und der bewaldeten und landwirtschaftlich genutzten Bereiche des Harzrandes. Weitere Merkmale sind die zahl- und artenreichen Bergwiesen mit den ökologisch wertvollen Bereichen angrenzender Wälder und weiten Talwiesen in der freien Landschaft (Verordnung über das LSG Harz).



**Abbildung 18:** Landschaftsschutzgebiet Harz um den Wiemannsbucher Schacht (Geoportal Landkreis Osterode 2009)

In § 4 der LSG-Verordnung ist festgelegt, dass alle baulichen Anlagen unter dem Erlaubnisvorbehalt der unteren Naturschutzbehörde stehen. Dies gilt auch für maschinelle Bohrungen und Schürfe, bei denen auf einer Fläche von mehr als 10 m<sup>2</sup> die belebte Bodenschicht abgetragen wird. Die Erlaubnis wird erteilt, wenn der Charakter des LSG und der besondere Schutzzweck nicht beeinträchtigt werden.

Nach § 5 sind eine Vielzahl von verbotenen Handlungen aufgeführt: u.a. solche, die zur Beseitigung oder Veränderung von Gewässern und Feuchtflächen, sowie wasserabhängigen Biotopen führen können. Dazu gehört auch die Umwandlung von Wald im Sinne des Landeswaldgesetzes. Für Handlungen, für die nach § 4 keine Erlaubnis erteilt werden kann und die nach § 5 verboten sind, kann nach § 6 allerdings auch eine Befreiung erteilt werden.

Da mit der Errichtung des untertägigen PSW oberirdisch auch bauliche Anlagen errichtet werden, steht die Genehmigung nach § 4 der LSG-Verordnung in jedem Fall unter einem Erlaubnisvorbehalt der Naturschutzbehörde.

Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass durch den Bau des PSW Gewässer und Feuchtflächen aller Art, wie z.B. Quellen, Altwässer, Tümpel, Weiher, Teiche, Nassstellen, Röhrichte, Sümpfe sowie Bäche, Gräben oder andere Fließgewässer verändert oder beseitigt werden müssen sowie die hieran gebundene Vegetation oder Tierwelt Schaden nimmt.

Somit liegen ein Erlaubnisvorbehalt sowie ein Verbotstatbestand vor. Falls der Charakter des LSG und der besondere Schutzzweck nach Einschätzung der Naturschutzbehörde nicht verändert werden, sind im Sinne der LSG-Verordnung eine Erlaubnis und eine Befreiung möglich.

Da die baulichen Anlagen der PSW-Anlage als Nachnutzung auf einem ehemaligen Zechengelände errichtet werden und nur die Stromleitung durch das LSG Harz führt, dürfte sich der Charakter des Schutzgebiets dadurch nicht ändern. Die Erlaubnisvorbehalte und Verbote relativieren sich auch vor dem Hintergrund, dass das LSG den halben Landkreis Osterode am Harz umfasst.

### **3.3.3 Geschützte Landschaftsbestandteile (§ 29 BNatSchG 2010)**

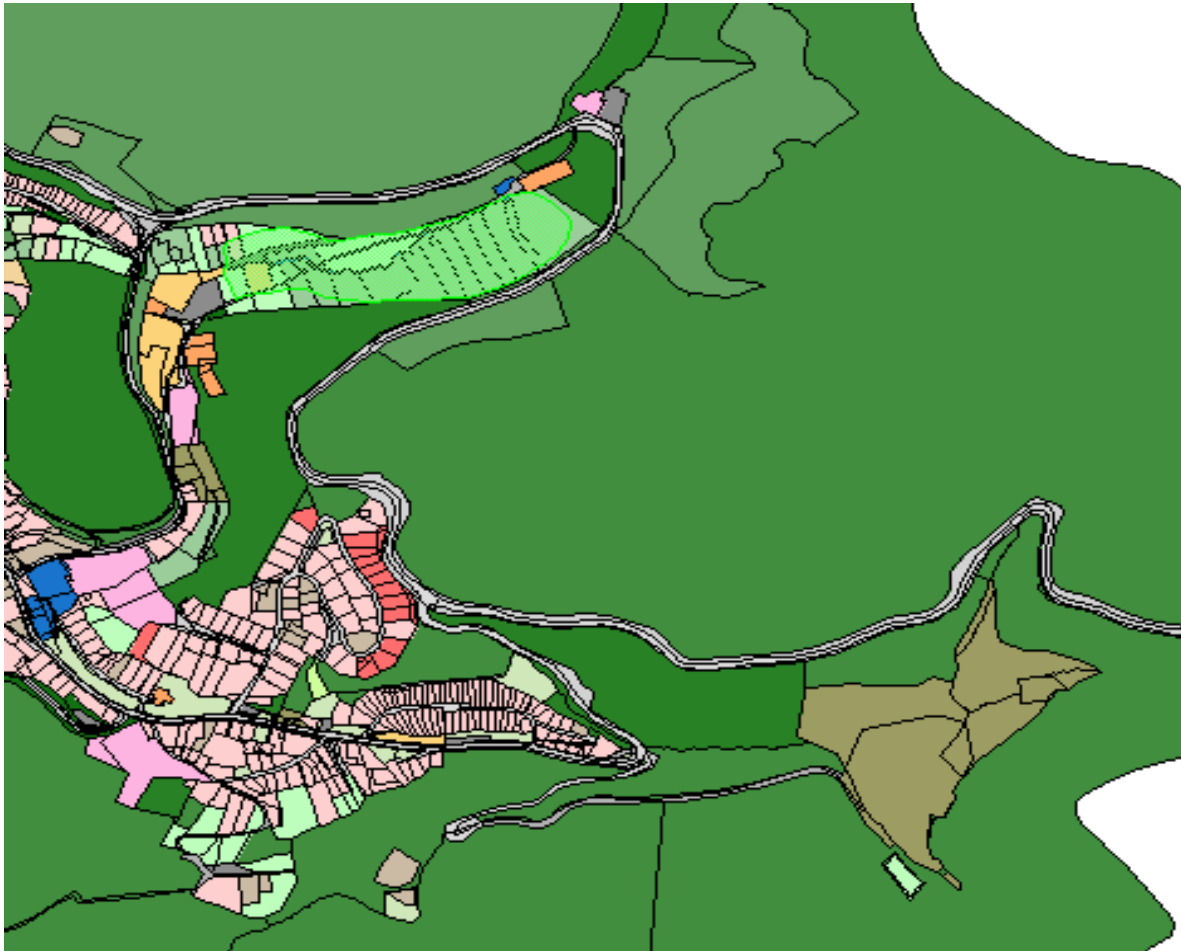
In Bad Grund ist eine größere Anzahl von Bäumen entlang der Straßen als geschützte Landschaftsbestandteile festgesetzt. In der Umgebung der Werksgelände des Modellbergwerks befinden sich allerdings keine geschützten Landschaftsbestandteile.

### **3.3.4 Gesetzlich geschützte Biotope (§30 BNatSchG 2010)**

Nordwestlich des Wiemannsbuchter Schachts befindet sich ein Borstgrasrasen in der Kehre der Harzhochstraße 242 (s. Abbildung 19). Da der Abstand mehr als 1 km beträgt, sind vom Bau des PSW keine negativen Auswirkungen auf geschützte Biotope zu erwarten. Da zum Kalkgestein des Ibers keine Verbindung der Stollengänge des Bergwerks mehr existiert – eine ehemalige Verbindung wurde über einen Kugeldamm abgedichtet –, kann keine Entwässerung des Berges und damit Schädigung der Vegetation eintreten (Hartmann, Labor Hartmann Göttingen, Tel. am 5.1.2010).

### **3.3.5 Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung (§ 32 BNatSchG 2010)**

Die Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung, die nach den Vorgaben der FFH-Richtlinie von der Europäischen Kommission als schutzwürdig ausgewählt wurden, müssen vom Gesetzgeber innerhalb von 6 Jahren zu geschützten Teilen von Natur und Landschaft ausgewählt werden. Nach § 20 BNatSchG 2010 gehören dazu die Kategorien Naturschutzgebiet, Nationalpark, Nationales Naturmonument, Biosphärenreservat, Landschaftsschutzgebiet, Naturpark, Naturdenkmal und geschützter Landschaftsbestandteil. Für die erste Liste ist dies bis 2010 und für die zweite Liste der FFH-Gebiete bis 2014 erforderlich.



**Abbildung 19:** Borstgrasrasen (hellgrün) in Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2010)

Vor diesem Hintergrund bemessen sich die Restriktionen gegenüber einem PSW nach den Verboten der jeweiligen Schutzgebietsverordnung. Falls diese jede bauliche Nutzung ausschließen, ist ein PSW nicht zulässig.

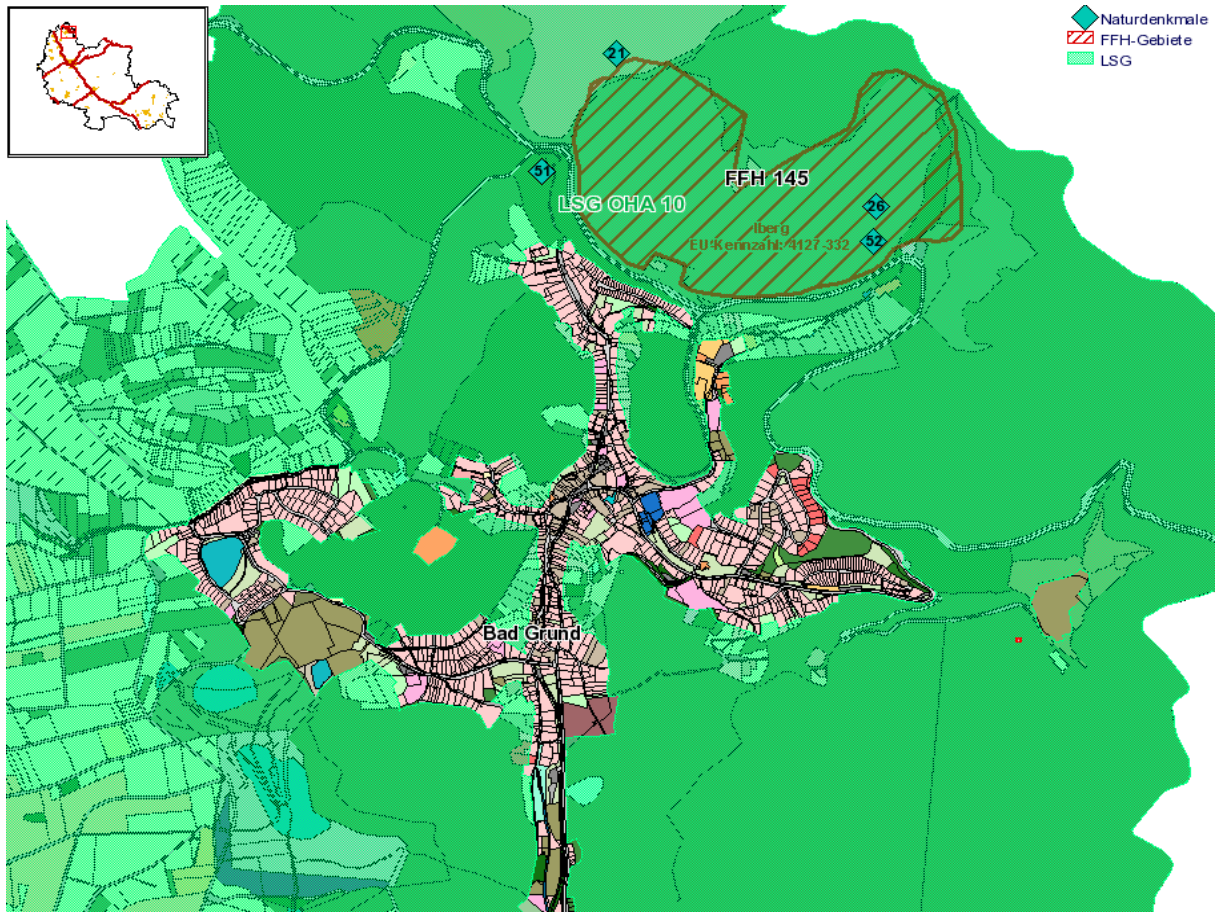
Falls die Verbote jedoch nicht derart strikt formuliert sind, ist über den Weg einer Verträglichkeitsprüfung nach § 34 BNatSchG 2010 die Genehmigung eines PSW möglich. Sind keine erheblichen Beeinträchtigungen von Erhaltungszielen zu erwarten, ist das Vorhaben unmittelbar zulässig. Andernfalls kann die Genehmigung über das Ausnahmeverfahren erreicht werden, soweit es aus zwingenden Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses, einschließlich solcher sozialer oder wirtschaftlicher Art, notwendig ist und zumutbare Alternativen nicht gegeben sind (hohe Restriktion).

Nordöstlich von Bad Grund befindet sich das FFH-Gebiet Iberg (Nr. 4127-332) (s. Abbildung 20). Aufgrund der Entfernung zu den Schachtanlagen des Modellbergwerks sind keine Beeinträchtigungen von Erhaltungszielen des Schutzgebiets zu erwarten. Da zum Kalkgestein des Ibergs keine Verbindung der Stollengänge des Bergwerks existiert, kann auch keine Entwässerung des Berges und damit Schädigung der Vegetation eintreten (vgl. Kap. 2.2.9).

### 3.3.6 Europäische Vogelschutzgebiete (§ 32 BNatSchG 2010)

In der Umgebung zum Modellbergwerk Bad Grund befindet sich kein Vogelschutzgebiet. Das nächstgelegene Vogelschutzgebiet ist der Nationalpark Harz, der auch diesen Status trägt.





**Abbildung 20:** FFH-Gebiete in der Umgebung von Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2010)

### 3.3.7 Naturdenkmale (§ 28 BNatSchG 2010)

Nordöstlich von Bad Grund befinden sich 4 Naturdenkmale (s. Abbildung 21). Die kürzeste Entfernung des Naturdenkmals OHA 52 zum Wiemannsbuchter Schacht beträgt ca. 1 km. Dabei handelt es sich um vier Eiben in Strauchform auf bzw. an einer Klippe unweit der Iberger Tropfsteinhöhle nordöstlich von Bad Grund. Sie sind ein seltenes Relikt der ehemaligen, natürlichen Bestockung des Ibergs (Iberg = Eibenberg) und haben daher besondere Bedeutung für Natur- und Heimatkunde. Die kürzeste Entfernung des Naturdenkmals OHA 51 zum Gelände des Achenbachschachts beträgt ca. 1,5 km. Beim Hübichenstein handelt es sich um eine markante Felsklippengruppe des Iberger Riffkalks, die sich durch besondere Eigenart und landschaftliche Schönheit auszeichnet. Der sagenumwobene Hübichenstein mit seinen Höhlen ist von heimatkundlicher Bedeutung. Aufgrund der großen Entfernung zum Werksgelände sind Beeinträchtigungen der Naturdenkmale ausgeschlossen.

### 3.3.8 Flächen des Biotopverbundes (§ 21 BNatSchG 2010)

Die für das Modellbergwerk Bad Grund in Frage kommenden Werksgelände berühren keine Flächen des Biotopverbundes. Auch für die Stromleitungen sind diesbezüglich keine Beeinträchtigungen zu erwarten.

### 3.3.9 Wasserschutzgebiete (§§ 51, 52 WHG)

Nordöstlich von Bad Grund befindet sich das Wasserschutzgebiet Magdeburger Stollen. Die Schutzzone II hat eine Größe von 205,28 ha, die Schutzzone I von 0,16 ha (s. Abbildung 22).

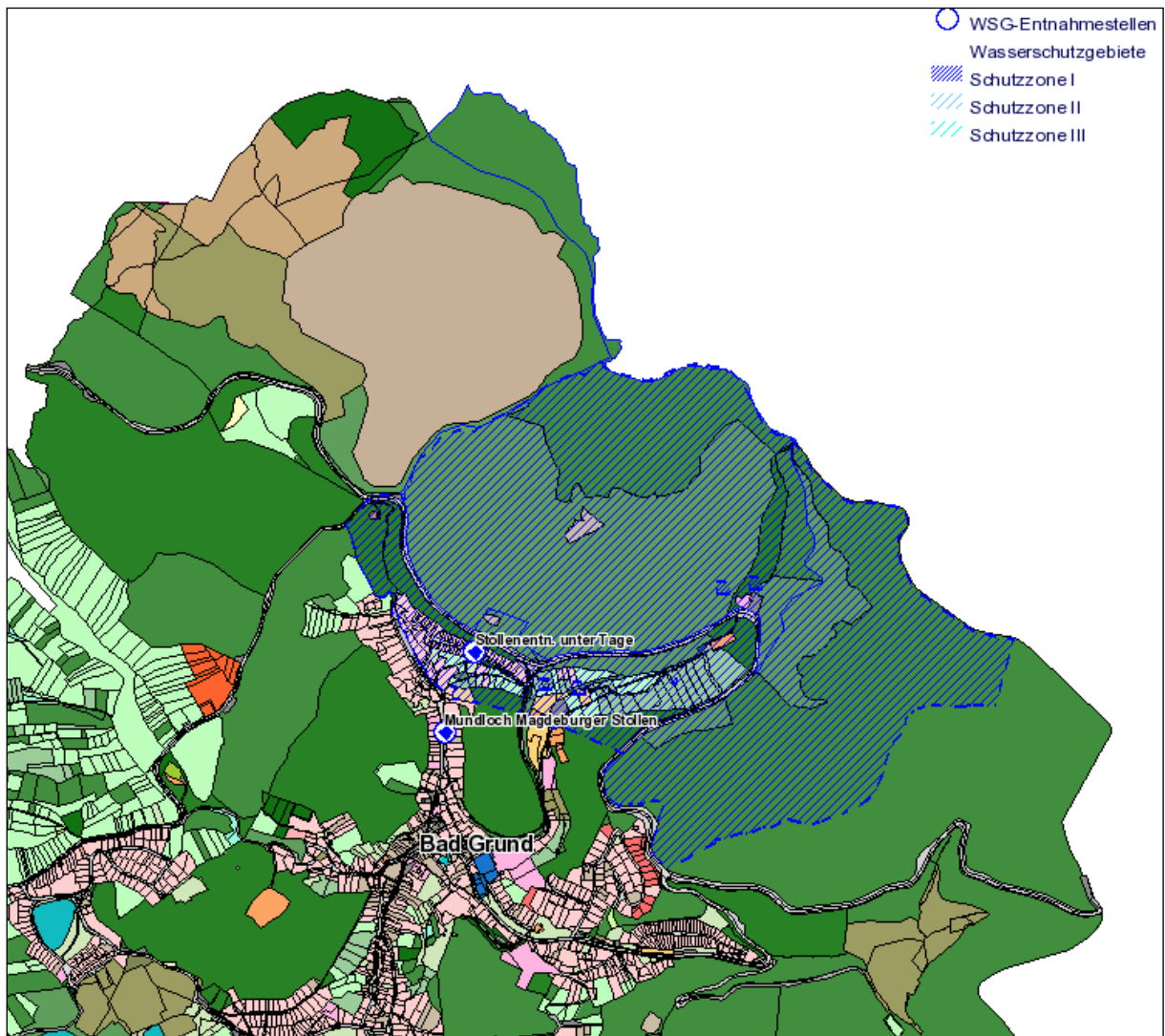


**Abbildung 21:** Naturdenkmale OHA 51, 52 und 26 (Geoportal Landkreis Osterode 2009)

In der Zone II sind die Gefährdungen nicht tragbar, die von bestimmten menschlichen Tätigkeiten und Einrichtungen ausgehen und mit Verletzung der schützenden Deckschichten verbunden sind. Der hygienische Schutz vor bakteriellen Verunreinigen soll sichergestellt werden. Als Schutzzone I (Fassungsbereich) wird die unmittelbare Umgebung des Brunnens oder der Quelle ausgewiesen. Die Zone I soll vor jeder unmittelbaren Verunreinigung geschützt werden und wird in der Regel eingezäunt (Landkreis Osterode, Geoportal, 5.1.2010).

Der Magdeburger Stollen, der der Trinkwassergewinnung von Bad Grund dient, liegt ca. 150 m höher als der erste Stollen des stillgelegten Bergwerks. Es besteht daher kein Kontakt mit dem Bergwerk (Beck, Leiter Bauwesen, SG Bad Grund, Tel. am 21.12.2009). Der einzige unterirdische Stollen, der den Iberg im Betrieb des Bergwerks erreicht hatte, führte zu einem nicht beherrschbaren Wasserandrang aufgrund des Kalkgesteins und wurde daher über einen Kugeldamm abgedichtet (Hartmann, Labor Hartmann Göttingen, Tel. am 5.1.2010).





**Abbildung 22:** Wasserschutzgebiete in der Umgebung von Bad Grund (Geoportal Landkreis Osterode 2010)

Nach aktuellem Stand der Planung (11.03.2011) ist die Lage der Speicherbecken nicht endgültig festgelegt. Da das Unterbecken in seiner ursprünglich geplanten Größe teilweise unterhalb des WSG Magdeburger Stollen liegt, wird die Möglichkeit der Beckenverkleinerung diskutiert. Es wird dringend empfohlen, das Becken in Form und Größe den Gegebenheiten anzupassen, so dass es das Wasserschutzgebiet nicht berührt, da eine Lage des untertägigen Pumpspeicherwerks im WSG mit hohen Restriktionen einhergeht.

### 3.3.10 Forstliche Schutzgebiete

In Niedersachsen, wo sich das Modellprojekt befindet, existiert nach dem Niedersächsischen Gesetz über den Wald und die Landschaftsordnung (NWaldLG vom 21. März 2002) keine Regelung zum Schutzwald. Außerdem ist nach dem NWaldLG kein Erholungswald als Schutzkategorie vorgesehen. Darüber hinaus ist mit dem Bau der PSW-Anlage auch keine Rodung von Wald verbunden.

### 3.3.11 Bodenschutzgebiete (§ 21 Abs. 3 BBodSchG)

Im Landkreis Osterode am Harz, in dem sich das Modellprojekt befindet, ist bisher kein Bodenplanungsgebiet ausgewiesen worden (vgl. 3.4.4).

Ob ein untertägiges PSW in einem Bodenschutzgebiet zugelassen werden kann, hängt grundsätzlich von der Schutzverordnung und den dort festgelegten Nutzungsbeschränkungen und Sanierungsmaßnahmen ab. Da die meisten Anlagenbestandteile unterirdisch errichtet werden, ergeben sich mittlere Restriktionen gegenüber dem Bau und Betrieb eines PSW.

### 3.3.12 Verdachtsflächen, Altlasten, altlastenverdächtige Flächen nach § 2 BBodSchG

Im Regionalen Raumordnungsprogramm für den Landkreis Osterode am Harz sind folgende Standorte regional bedeutsamer Altlasten ausgewiesen (RROP 1998, D 3.10.2 01/02):

- in Gittelde/Windhausen das „Schwarze Wasser“, das Absetzbecken des Erzbergwerkes sowie
- die „Laubhütte Am Güterbahnhof“ aufgrund der Blei-Zink-belasteten Altablagerung.

Daraus ergeben sich keine Restriktionen gegenüber dem Modellprojekt in Bad Grund.

## 3.4 Schutzgutbezogene Restriktionen (Bad Grund)

### 3.4.1 Potenzielle Auswirkungen auf den Menschen, einschließlich menschlicher Gesundheit

Das im Oberharz vorherrschende Gestein ist Grauwacke und Tonschiefer. Nach Auskunft von Herrn Beck (Leiter Bauwesen, SG Bad Grund, Tel. am 21.12.2009) sind die Stollen und Schächte in Bad Grund überwiegend standsicher sind und es besteht keine Bergschadengefährdung.

Für den Betrieb des untertägigen PSW ist es erforderlich, in Stollen Verfüllungen zu beseitigen und für die Speicherbecken Hohlräume zu schaffen. Um dabei nachteilige Auswirkungen zu vermeiden, werden in die Stollen und Speicherbecken entsprechende Stütz- und Ausbauelemente eingebracht. Unter diesen Voraussetzungen kann die Gefährdung des Menschen durch Bergschäden minimiert werden.

Die Trinkwassergewinnung der Samtgemeinde Bad Grund erfolgt aus dem oberflächennahen Magdeburger Stollen. Eine Gefährdung der Wassergewinnung durch Bau oder Betrieb des untertägigen PSW ist allerdings ausgeschlossen, da kein Kontakt des Magdeburger Stollens mit dem Bergwerk besteht. Der Magdeburger Stollen liegt ca. 150 m höher als der erste Stollen des stillgelegten Bergwerks (Beck, Leiter Bauwesen, SG Bad Grund, Tel. am 21.12.2009). Der einzige unterirdische Stollen, der den Iberg im Betrieb des Bergwerks erreicht hatte, führte aufgrund des porösen Kalkgesteins zu einem großen, nicht beherrschbaren Wasserandrang und wurde daher über einen Kugeldamm abgedichtet (Hartmann, Labor Hartmann Göttingen, Tel. am 5.1.2010). Darüber hinaus sind mit dem Bau der Anlage keine Aktivitäten ersichtlich, die zur Verletzung der schützenden Deckschichten führen könnte. Aus den



genannten Gründen ist durch Bau und Betrieb der untertägigen PSW-Anlage eine Gefährdung der Trinkwasserversorgung der Samtgemeinde Bad Grund unwahrscheinlich.

Die Möglichkeit toxischer Emissionen oder Mobilisierung von Schadstoffen ist in weiteren Vor-Ort-Untersuchungen zu klären.

### **3.4.2 Potenzielle Auswirkungen auf Tiere, insbesondere Fledermäuse**

Von den in Deutschland heimischen 22 Fledermausarten des Anhangs IV der FFH-Richtlinie können 15 Arten Bergwerke bzw. Stollen und ähnliche unterirdische Bauwerke wie Bunker und Keller als Winterquartiere nutzen. Davon kommen 14 Arten im Landkreis Osterode vor (s. Tabelle 4).

Als das Erzbergwerk Grund geschlossen wurde, wurden die Schachtanlagen jeweils mit einer Betonplombe verschlossen. Die Plombe am Achenbachschacht ist 80 m lang und hat einen Durchmesser von 4 bis 5 Meter (Lampe, Landesamt für Bergbau, Energie u. Geologie, Tel. am 5.1.2010). Die unterirdischen Stollen sind seit der Schließung bis auf die Höhe des Ernst-August-Stollens voll Wasser gelaufen.

Dennoch ist nicht gänzlich ausgeschlossen, dass sich in den darüber befindlichen Stollen Fledermausquartiere befinden, da das Bergwerk beim Wasseraustritt in den Ernst-August-Stollen mit einem großen Gittertor verschlossen ist, das von Fledermäusen passiert werden kann. Im Bereich Bad Grund befindet sich zudem der Iberg mit über 100 natürlichen Höhlen, welche z.T. wichtige Winterquartiere u.a. für Nord-, Bechstein-, Wasserfledermäuse und das Große Mausohr sind (Hartmann, Labor Hartmann Göttingen, Tel. am 5.1.2010).

Daher ist vor der Öffnung der Schachtanlagen zu kartieren, ob bzw. welche Fledermausarten das Bergwerk als Winterquartier nutzen. Aufgrund der Länge des Ernst August Stollens ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass Fledermäuse nur den vorderen Bereich nutzen.

Im Rahmen der artenschutzrechtlichen Prüfung muss daher geprüft werden, ob im hinteren Teil des Bergwerks die untertägigen PSW-Anlagen installiert werden können, ohne dabei Quartiere zu schädigen. Da sich im Sommer Fledermäuse in Bergwerken nicht länger aufhalten, müssen die Bauarbeiten zu dieser Jahreszeit durchgeführt werden. Zudem muss gewährleistet sein, dass die Tiere den Stollen im Betrieb des PSW weiterhin als Quartier nutzen können.

Generell erweisen sich die artenschutzrechtlichen Verbotstatbestände als hohe Hürden für Vorhaben und damit auch für untertägige PSW. Daher ist es erforderlich, zu Beginn der Planungsphase gründlich zu untersuchen, ob im stillgelegten Bergwerk Fledermausarten vorkommen. Werden im bedeutenden Umfang Fledermausarten nachgewiesen, stellt sich die Frage, ob das Vorhaben an diesem Standort weiterhin geplant werden kann.

### **3.4.3 Potenzielle Auswirkungen auf Pflanzen**

Da die obertägigen Gebäude und Anlagen des Modellbergwerks Bad Grund in vorhandenen Gebäuden auf dem ehemaligen Werksgelände nachgenutzt werden können, ist es nicht erforderlich, beim Bau des PSW hochwertige Vegetationsstrukturen wie etwa gesetzlich geschützte Biotope zu zerstören.

**Tabelle 4: Fledermausarten, die im Landkreis Osterode am Harz Bergwerke als Quartiere nutzen können**

Art	Verhalten, Biologie
Bechsteinfledermaus ( <i>Myotis bechsteinii</i> )	Jagdgebiet v.a. ausgedehnte Laub- und Mischwälder, Sommerquartier Baumhöhlen und Nistkästen, Winterquartier unterirdisch, im Sommer von allen Arten am engsten an den Lebensraum Wald angepasst, jagt vegetationsnah, liest gerne ruhende Beutetiere von Blättern und Baumstämmen (Albrecht 2008)
Fransenfledermaus ( <i>Myotis nattereri</i> )	Jagdgebiet Wälder und gehölzreiche Gebiete, Sommerquartier Wälder (Baumhöhlen, Nistkästen) oder Hohlblocksteine, Ställe/Scheunen, Winterquartier unterirdisch, in Bäumen gelegene Wochenstuben, im Wald als Wochenstubenverband (Tiere wechseln in unterschiedlichen Gruppen zwischen benachbarten Quartieren) (Albrecht 2008)
Braunes Langohr ( <i>Plecotus auritus</i> )	Jagdgebiet in Siedlungen, an Gebüsch/Baumkronen, auch in Kuhställen und über Grünland, Sommerquartier v.a. Dachböden/Kirchtürme, Winterquartier Keller, Stollen, Höhlen oder Dachböden, sowohl typische „Wald-“, als auch „Siedlungsfledermaus“, Spezialisierung auf Wahrnehmung ruhender Beute z.B. auf Blättern oder Blüten (Albrecht 2008)
Graues Langohr ( <i>Plecotus austriacus</i> )	Jagdgebiet Wiesen, Weiden, Brachen, Haus- und Obstgärten sowie Gehölzränder und Wälder, wobei Laubwälder bevorzugt werden. Seltener auch in Scheunen und anderen Gebäuden. Sommerquartier in und an Gebäuden, bevorzugt werden Dachräume, Mauerhohlräume oder seltener Spalten hinter Wandverkleidungen. Winterquartier Keller oder Mauerspalt, in Kirchen, außen an Gebäuden oder in Mehlschwalbennestern. Allein lebende Männchen nutzen Höhlen und Stollen auch im Sommer als Quartier. (Petersen et al. 2004)
Wasserfledermaus ( <i>Myotis daubentonii</i> )	Jagdgebiet über Gewässern, auch in Wäldern, Sommerquartier Baumhöhlen in Wäldern/Parks, gelegentlich Brückenspalten, Winterquartier Höhlen, Stollen, Keller (Albrecht 2008)
Große Bartfledermaus ( <i>Myotis brandtii</i> )	Jagdgebiet Wälder und Gewässer, auch gehölzreiche Siedlungsteile, Sommerquartier Gebäudespalten, Dachböden, Flachkästen, Winterquartier Höhlen, alte Bierkeller, Stollen (Albrecht 2008)
Kleine Bartfledermaus ( <i>Myotis mystacina</i> )	Jagdgebiet Waldränder, Gewässerufer, Hecken und Gärten, selten in geschlossenen Wäldern. Sommerquartier in Spalten und Hohlräumen in und an Gebäuden, in Baumhöhlen und hinter abstehender Baumrinde. Winterquartier in frostfreien Höhlen, Stollen und Kellern (0-10°C) mit hoher Luftfeuchtigkeit. (BfN 2004)
Mopsfledermaus ( <i>Barbastella barbastellus</i> )	Jagdgebiet Wälder und Waldränder, oft entlang von Baumkronen (!), Sommerquartier Spalten an Gebäuden oder hinter abstehender Rinde an absterbenden Bäumen (kann deshalb im Sommer nur in Wäldern mit hohem Alt-/Totholzanteil leben), Winterquartier Höhlen, unterirdische Gewölbe, Keller, Stollen (Albrecht 2008)
Großes Mausohr ( <i>Myotis myotis</i> )	Jagdgebiet Laubwälder und laubholzreiche Mischwälder mit unbedecktem Boden, frisch gemähte Wiesen/Weiden, Sommerquartier Dachböden, Kirchen, Schlösser, Winterquartier einzeln oder in Gruppen in Höhlen, Kellern, Kasematten, Mausohr-Weibchen bilden im Sommer große Kolonien (bis zu >1.000 Tiere), spezialisiert auf Raschelgeräusche im trockenen Laub, zwischen Sommer- und Winterquartier bis über 100 km (Albrecht 2008)
Teichfledermaus ( <i>Myotis dasycneme</i> )	Jagdgebiet fast immer über großen stehenden oder langsam fließenden Gewässerflächen, z.T. auch an städtischen Parkgewässern. Sommerquartier in und an Gebäuden, einzelne Tiere wählen auch Baumhöhlen oder Nistkästen. Winterquartier ausschließlich in frostfreien Höhlen, Stollen,

Art	Verhalten, Biologie
	Bunkern oder Kellern (BfN 2004)
Breitflügelfledermaus ( <i>Eptesicus serotinus</i> )	Jagdgebiete sind Wälder und offene Flächen, die teilweise randliche Gehölzstrukturen aufweisen, wie Waldränder, Grünland mit Hecken, Gewässerufer, Parks, Baumreihen, Hinterhöfe, Sportplätze und Müllkippen. Sommerquartier Spalten oder kleine Hohlräume, u.a. auf Dachböden, hinter Fassadenverkleidungen sowie in Dehnungsfugen von Brücken. Winterquartier in Kellern, Stollen und Höhlen. Ortstreu, Entfernungen zwischen Sommer- und Winterquartier unter 50 km. (BfN 2004)
Zwergfledermaus ( <i>Pipistrellus pipistrellus</i> )	Jagdgebiete überwiegend in der Nähe von Grenzstrukturen (Waldränder, Hecken, Wege), auch über Gewässern und an Straßenbeleuchtungen. Lineare Landschaftselemente sind wichtige Leitlinien sowohl für die Jagd als auch für Streckenflüge. Sommerquartier v.a. Zwischendächer und Spalten an Giebeln. Daneben werden aber auch Baumhöhlen, Baumspalten und Nistkästen genutzt. Winterquartier in geräumigen Höhlen und anderen unterirdischen Gewölben, wobei sie nicht frei hängen, sondern enge Spalten mit möglichst viel Körperkontakt zum umgebenden Medium bevorzugen. (BfN 2004)
Nordfledermaus ( <i>Eptesicus nilssonii</i> )	Jagdgebiet in Wäldern unterschiedlichen Typs, an Gewässern und in Ortschaften, gern um Straßenlaternen. Sommerquartier hauptsächlich in waldreichen Gebieten mit eingestreuten Freiflächen (Forstschnaisen, Lichtungen, Wiesen) und Gewässern. Als Winterquartier werden meist relativ trockene unterirdische Verstecke gewählt. Weibchen sind sehr philopatrisch und kehren immer wieder zu derselben Wochenstube und ihren individuellen Jagdgebieten zurück. (BfN 2004)
Kleine Hufeisennase ( <i>Rhinolophus hipposideros</i> )	Zählt in Deutschland zu den sehr seltenen Fledermausarten; sie hat sehr starke Bestandsabnahmen und einen Arealverlust von mehr als 50% des ursprünglichen Verbreitungsgebiets erlitten. Sommerquartier Biotopkomplex von Gebäuden mit ungestörten Dachräumen, ggf. unterirdischen Hohlräumen, sowie einer sie umgebenden reich strukturierten und kleinräumigen Landschaft mit extensiv genutzten Kulturlflächen und Wäldern. Im Radius von höchstens 30 km müssen störungsfreie Überwinterungsmöglichkeiten in Höhlen, Stollen oder Kellern verfügbar sein. (BfN 2004)
Wimperfledermaus ( <i>Myotis emarginatus</i> )	Zählt in Deutschland zu den sehr seltenen Fledermäusen; Verbreitung am äußersten Arealrand Deutschlands (v.a. im Süden und Südwesten). Quartiere ausnahmslos außerhalb des Waldes, jedoch immer in Waldnähe. Sommerquartier in Gebäuden, zumeist in großen Dachräumen, in Bäumen, und in Stollen. Zum Winterschlaf werden unterirdische Quartiere mit relativ hohen Durchschnittstemperaturen (5-10°C) aufgesucht.) (BfN 2004)

Beim Modellprojekt Bad Grund wird auch davon ausgegangen, dass auf der untersten Sohle eine Wasserhaltung eingerichtet werden muss. Dadurch wird es voraussichtlich zu einem geringfügigen Absenken des Grundwasserspiegels kommen. Da im Bergwerk vor allem die relativ wasserundurchlässigen Gesteine Grauwacke und Diabas vorliegen, wird angenommen, dass es im Betrieb des PSW an der Oberfläche lediglich vereinzelt zur Abnahme des bodenverfügbaren Wassers und damit lediglich vereinzelt zu möglichen Beeinträchtigungen der Pflanzendecke kommt.

### 3.4.4 Potenzielle Auswirkungen auf den Boden

Auf dem ehemaligen Werksgelände des Erzbergwerks Bad Grund befinden sich Bereiche mit Gesteinsaushub. Im Rahmen der Stilllegung hat das Bergamt Goslar eine Beprobung des Werksgeländes Erzbergwerk Grund angeordnet, um die Entlassung von Freiflächen und Gebäuden der Schachtanlage aus der Bergaufsicht zu ermöglichen. Nach dem Untersuchungsbericht von 1996; „Bodenbeprobung-Werksgelände Erzbergwerk Grund“ im Auftrag der Preussag AG, sind diese punktuell und flächig über das gesamte ehemalige Werksgelände verteilt. Die Schwermetallgehalte aus den entnommenen und analysierten Bodenproben sind in folgender Tabelle aufgelistet.

**Tabelle 5:** Messwerte der auf dem Werksgelände Bad Grund entnommenen Proben (Walcher 1996, gekürzt)

Nr.	Probenabschnitt (cm)	Pb (mg/kg) In TS	Zn (mg/kg) In TS	Cd (mg/kg) In TS
1	20-50	<b>4460</b>	5570	17
2	40-60	<b>2641</b>	336	3
3	40-60	560	440	0,98
4	0-50	1380	1780	11
5	40-60	<b>3960</b>	2530	8,6
6	40-60	<b>2710</b>	3840	10
7	30-50	47	299	0,85
8	30-50	29	76	0,35
9	30-40	1273	544	4
10	15-30	<b>2260</b>	140	2,7
11	40-50	<b>2179</b>	481	4
12	30-60	920	640	2,7
13	0-50	317	3494	20
14	0-50	<b>3668</b>	1768	11
15	20-60	1570	810	3,1
16	50-70	290	360	2
17	40-50	610	1370	11
18	40-50	<b>2024</b>	1288	7
19	30-50	998	710	3,2
20	40-60	<b>5320</b>	2180	6
<b>Kloke (1993)</b>	BW I	100	150	1
	BW II	1000	1000	10
	BW III	2000	3000	20

**Legende:** fett = Überschreitung Grenzwert Kloke-Liste

Untersucht wurden die Buntmetallgehalte Blei, Zink und Cadmium. Die festgestellten Buntmetallgehalte wurden mit den nutzungs- und schutzgutbezogenen Orientierungsdaten der „Kloke-Liste“ (Eikmann & Kloke 1993) in Bezug gesetzt. Der BW III-Wert markiert die Grenze, über der Schäden an Schutzgütern möglich sind und beträgt für Blei (Pb) 2000 mg/kg in Trockensubstanz (TS), für Zink (Zn) 3000 mg/kg in TS und für Cadmium (Cd) 20 mg/kg in TS. Für Zink wurde der Kloke-Grenzwert bei einer Probe mit 3494 mg/kg überschritten, für Blei bei 5 Proben und für Cadmium bei einer Probe. Bei dem beprobten Abschnitt handelt es sich weitgehend um Gesteinsmaterial aus der Grube (Walcher 1996). Darüber hinaus liegen die Bleiwerte in der Mehrzahl der Proben über den Prüfwerten der BBodSchV (s. Tabelle 6).

Für das Werksgelände des Achenbachschachts wurden keine Bodenproben analysiert.

Aufgrund der Schwermetallbefrachtung des jetzigen Bodens wurde der Bereich laut Bebauungsplan „Hilfe Gottes“ (2003) gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB als Maßnahmenfläche zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft festgesetzt.

**Tabelle 6:** Prüfwerte der BBodSchV - Anhang 2, 1.3

<b>Stoff</b>	<b>Kinderspielfläche n [mg/kg TM]</b>	<b>Wohngebiet e [mg/kg TM]</b>	<b>Park- und Freizeitanlage n [mg/kg TM]</b>	<b>Industrie- und Gewerbegrundstück e [mg/kg TM]</b>
Arsen	25	50	125	140
Blei	200	400	1000	2000
Cadmium	101)	201)	50	60
Cyanide	50	50	50	100
Chrom	200	400	1000	1000
Nickel	70	140	350	900
Quecksilber	10	20	50	80

1) In Haus- und Kleingärten, die sowohl als Aufenthaltsbereiche für Kinder als auch für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden, ist für Cadmium der Wert von 2,0 mg/kg TM als Prüfwert anzuwenden.

Für die Errichtung des PSW im Bergwerk Bad Grund sind verschiedene den Boden beeinflussende Arbeiten nötig. Die für die Nutzung ausgewählten Schächte, Wiemannsbuchtschacht oder Achenbachschacht, müssen geringfügig verändert werden: Das als Oberbecken geplante Becken muss neu aufgefahren werden, um das erforderliche Volumen zu erreichen (Mahr, Tel. am 4.1.2010). Für die Entsorgung des möglicherweise durch Schwermetalle belasteten Abraums liegt für das Wiemannsbuchter Schachtgelände noch eine geltende Genehmigung vor, die es erlaubt, die bestehende Halde zu nutzen und durch den anfallenden Aushub zu erweitern (Lampe, Tel. am 5.1.2010). Durch diese alte Genehmigung wird das Vorhaben im Projektgebiet stark vereinfacht.

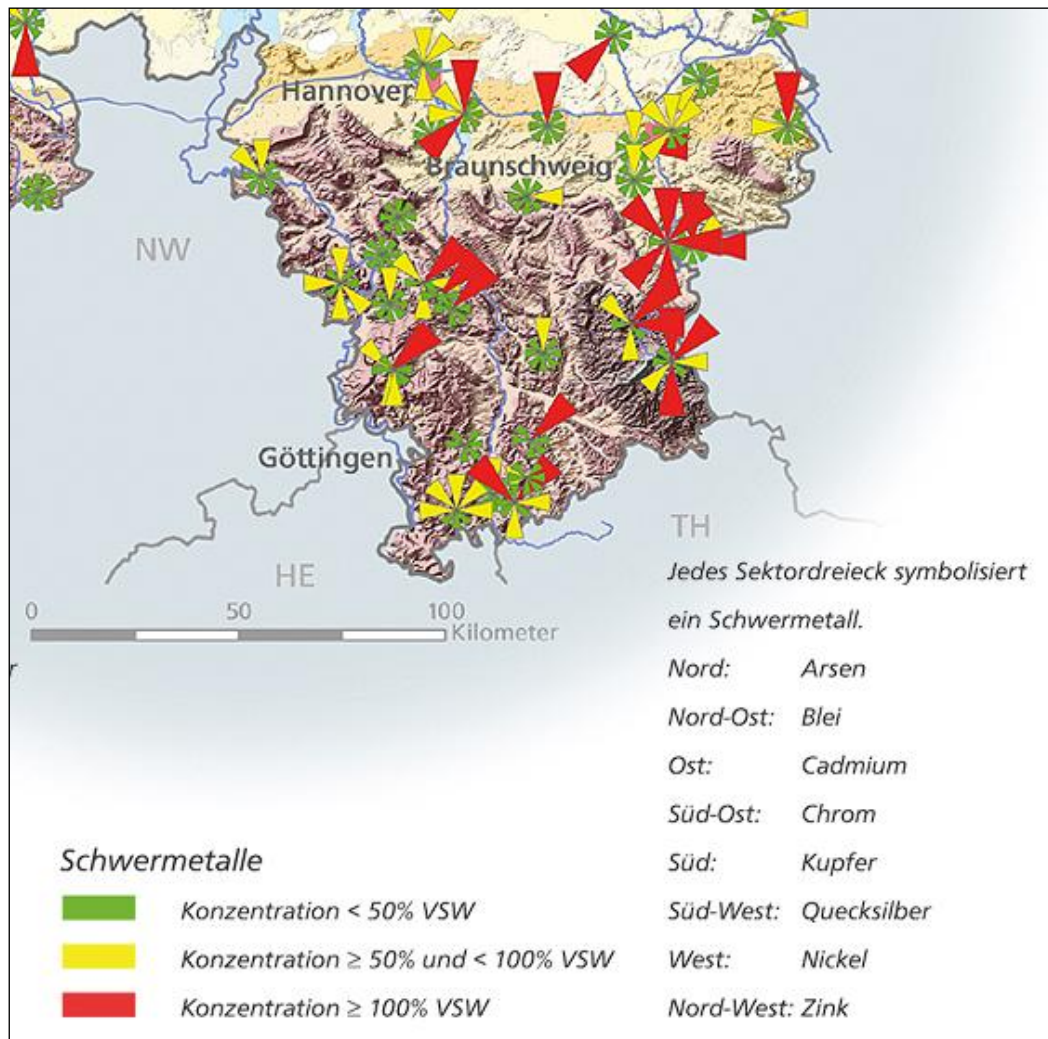
Weiterhin müssen für das PSW technische Anlagen oberirdisch errichtet werden. Die anfallenden Bodenmengen werden in Bad Grund allerdings dadurch stark minimiert, dass bestehende Infrastrukturen und ehemalige Werksgebäude für die nötigen Einrichtungen nachgenutzt werden. Ob bzw. in welchem Umfang bei der Errichtung der Transformatoren und Schaltwarte für den Anschluss an das Stromnetz eine Flächeninanspruchnahme erfolgt und Bodenaushub anfällt, ist bei aktuellem Planungsstand nicht bekannt. Ggf. muss der belastete Boden auf die Abraumhalde des Wiemannsbuchter Schachtes gefahren werden.

### Bodenplanungsgebiet

Durch den Bergbau ist der Boden im Harz generell durch Schwermetalle belastet. Die vorgegebenen Vorsorge- und Prüfwerte werden häufig weit überschritten. Clausthal-Zellerfeld und Goslar-Oker gehören zu den am stärksten belasteten Gemeinden und Städten (s. Abbildung 23). In Niedersachsen können nach § 4 des Niedersächsischen Bodenschutzgesetzes (NBodSchG) Bodenplanungsgebiete eingerichtet werden, um in Gebieten mit flächenhaft schädlichen Bodenveränderungen die erforderlichen Maßnahmen des Bodenschutzes nach einheitlichen Maßstäben festzusetzen und aufeinander abzustimmen. Für Bad Grund existiert jedoch bisher kein Bodenplanungsgebiet. Als Standorte regional bedeutsamer Altlasten sind in Gittelde/Windhausen das „Schwarze



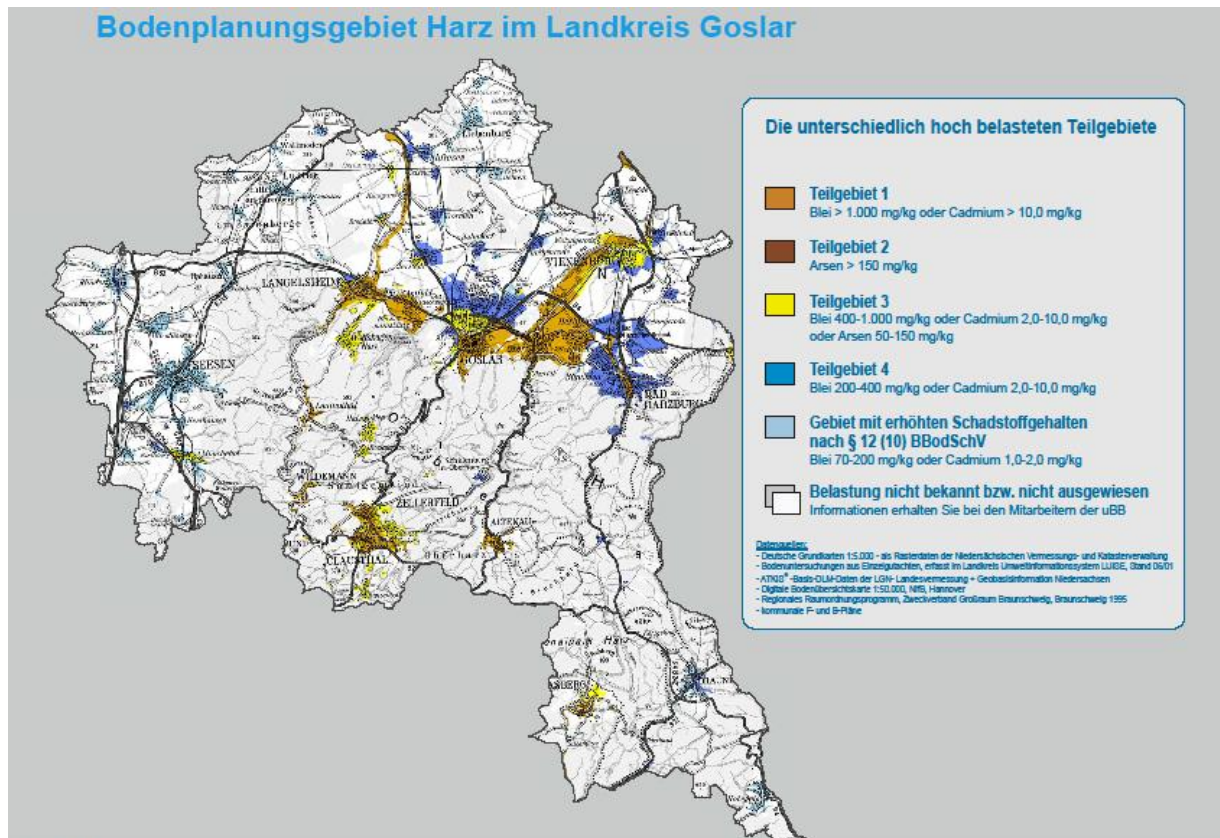
Wasser“, das Absatzbecken des Erzbergwerkes sowie die „Laubhütte Am Güterbahnhof“ aufgrund der Blei-Zink-belasteten Altablagerung ausgewiesen (RROP 1998, D 3.10.2 01/02).



**Abbildung 23:** Boden-Schwermetallkonzentrationen niedersächsischer Boden-Dauerbeobachtungsflächen, bezogen auf die Vorsorgewerte nach BBodSchV Quelle: [http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C24085523\\_N23049650\\_L20\\_D0\\_I598.html](http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C24085523_N23049650_L20_D0_I598.html)

Nach Auskunft von Herrn Scholz (Abteilungsleiter Naturschutz, Bodenschutz und Abfall der SG Bad Grund, Tel. am 21.12.2009) ist für 2010 die Einrichtung eines Bodenplanungsgebiets im Landkreis Osterode am Harz geplant. Analogieschlüsse, wie hinsichtlich des geplanten PSW ein entsprechendes Bodenmanagement für Bad Grund geregelt sein könnte, lassen sich aufgrund vergleichbarer Verhältnisse dem Bodenplanungsgebiet des Landkreises Goslar entnehmen.

Für den Umgang mit belasteten Böden hat der Landkreis Goslar im Rahmen des Bodenaushubmanagements im Jahre 2001 ein Bodenplanungsgebiet mit 4 Teilgebieten per Verordnung ausgewiesen (BPG-VO) (s. ).



**Abbildung 24:** Teilgebiete des Bodenplanungsgebiets Harz im LK Goslar (Umweltamt Landkreis Goslar 17.10.2005)

Teile des Landkreises Goslar sind so stark belastet, dass der Bodenaushub als Sonderabfall behandelt werden muss (vgl. KNOLLE 2009). In Bezug auf die erforderlichen Sanierungsmaßnahmen wurden für die jeweiligen Teilgebiete spezifische Handlungsstrategien und Vorgaben festgelegt. Diese sollen als Hilfestellung für alle betroffenen Grundstückseigentümer und Gewerbetreibenden fungieren. Oberstes Ziel ist es, mit Hilfe der Verordnung eine Verschlechterung der Belastungssituation zu verhindern (§1 BPG-VO und Umweltamt LK Goslar) (s. Abbildung 24).

Nach den für das Bodenplanungsgebiet Harz angegebenen Werten würde das Projektgebiet Bad Grund als Teilgebiet 1+2 ausgewiesen werden. Für die Teilgebiete 1+2 sind beim Bodenplanungsgebiet Harz für Industrie- und Gewerbeflächen Maßnahmen erforderlich, falls der Prüfwert nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) für die jeweilige Nutzung überschritten wird oder dies zu erwarten ist.

Auf dem ehemaligen Werksgelände des Achenbachschachts werden die Prüfwerte nach der BBodSchV in neun Fällen überschritten.

Geht man von der Verordnung des Bodenplanungsgebiets (BPG-VO) Harz im Landkreis Goslar aus, sind aufgrund der Werte beim Bau eines untertägigen PSW konkrete Maßnahmen erforderlich. Es besteht die Möglichkeit, den belasteten Boden gegen unbelasteten Boden auszutauschen und den Bodenaushub auf Boden- und Bauschuttdeponien zu verfrachten. Des Weiteren kann der belastete Boden mit unbelastetem Oberboden abgedeckt werden. Genaue Bestimmungen zum Verbleib des belasteten Bodenmaterials gibt § 12 Abs. 3 BPG-VO vor: „Harztypisch belastetes Bodenmaterial, das in dem jeweiligen Teilgebiet angefallen ist, kann in den zugelassenen Verwertungsanlagen des jeweiligen Teilgebietes abgelagert werden.“



Die Liste der zugelassenen Verwertungsanlagen gibt die Untere Bodenschutzbehörde im Amtsblatt für den Landkreis Goslar bekannt. Weiterhin kann Bodenmaterial das im Teilgebiet 1 angefallen ist, auch in der Anlage der Kreiswirtschaftsbetriebe Goslar (kAÖR) „Am Großen Sülteberg“ in Langelsheim beseitigt werden. Für Annahme- und Herkunftsnachweis des Bodenmaterials gilt die jeweilige Anlagengenehmigung“ (BPG-VO 2001).

**Tabelle 7:** Maßnahmenregelung der Teilgebiete des Bodenplanungsgebiets Harz (LK Goslar)

Grundstücksnutzung	Teilgebiete 1+2	Teilgebiet 3	Teilgebiet 4
Öffentliche Kinderspielflächen	Abdeckung mit unbelastetem Oberboden1 oder Bodenaustausch – belastet gegen unbelastet1 und Grabesperre unter Sandkisten2 (in beiden Fällen)		
Sonstige Kinderspielflächen auch in Haus- und Kleingärten	Abdeckung mit unbelastetem Oberboden1 oder Bodenaustausch - belastet gegen unbelastet1 und Grabesperre unter Sandkisten2 (in beiden Fällen)	Abdeckung mit unbelastetem Oberboden1 oder Bodenaustausch1 – belastet gegen unbelastet oder dauerhaft deckende Begrünung2 und Grabesperre unter Sandkisten2 (in allen Fällen). Bei deckender Begrünung muss der an die Sandkisten heranreichende Boden durch Betonplatten o.ä. abgegrenzt werden.	
Wohnnutzung ohne Kinderspielfläche	Abdeckung mit unbelastetem Oberboden3 oder Bodenaustausch – belastet gegen unbelastet3 oder dauerhaft deckende Begrünung		Keine Maßnahmen erforderlich.
Park- und Freizeitfläche	Maßnahmen nur erforderlich, wenn der Prüfwert nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) für die jeweilige Nutzung überschritten wird oder dies zu erwarten ist.	Keine Maßnahmen erforderlich.	
Industrie- und Gewerbefläche			
Ackerbau, Grünland oder Nutzgärten5			

Es ist wahrscheinlich, dass vergleichbare Sanierungsmaßnahmen für das zukünftige Bodenplanungsgebiet im Landkreis Osterode am Harz eingeführt werden. Für das Modellbergwerk ist dann der günstige Umstand anzuführen, dass für die Halde auf dem Gelände des Wiemannsbucher Schachts noch eine Genehmigung vorliegt. Hier könnte voraussichtlich belasteter Boden deponiert und anschließend mit unbelastetem Gestein bedeckt werden.

Vor dem Hintergrund der zu erwartenden Eingriffe in schadstoffbelasteten Boden und Gesteinsschichten sowie den beim Erzbergwerk Bad Grund möglichen Deponiemaßnahmen

sind vorrausichtlich in diesem Fall mit dem Bau der untertägigen PSW-Anlage keine erheblichen Beeinträchtigungen des Schutzgutes Boden verbunden.

Der Verbleib und die Menge des anfallenden Aushubs belasteten Bodens ist die zentrale Frage im Umgang mit Eingriffen in belastete Böden. In Bad Grund liegt diesbezüglich eine Sondersituation vor, da noch eine Genehmigung vorliegt, Aushub auf einer Halde des Wiemannsbuchter Schachts zu lagern. Dieser Sonderfall kann bei anderen stillgelegten Bergwerken nicht vorausgesetzt werden. In vielen Fällen wird dann ein kosten- und zeitintensiver Transport zu geeigneten Halden und Deponien in der Umgebung erforderlich sein.

Die unbestimmten Größen sind vor allem das Gesteinsmaterial und die Verfüllungen, die durch die Anlage der untertägigen Speicherbecken anfallen und deponiert werden müssen, falls sie mit Schwermetallen belastet sind. Dieses Material kann vom Volumen her die Bodenmengen weit übertreffen, die für oberirdische Gebäude entsorgt werden müssen.

### 3.4.5 Potenzielle Auswirkungen auf Oberflächengewässer

#### 3.4.5.1 Bewertungsmaßstäbe und Umweltqualitätsnormen

Die grundsätzlichen Qualitätsnormen und Zielvorgaben für einzelne Stoffe in Oberflächengewässern wurden in Kap. 5.5.1 beschrieben.

Bei der Festlegung der Ziele und Maßnahmen wird allerdings der historische Zustand berücksichtigt. So wird im niedersächsischen Beitrag für den Bewirtschaftungsplan der FGG Weser ausgeführt, dass die Grundbelastung der Gewässer durch die Montanindustrie die baldige Erreichung des guten Zustandes der Gewässer verhindert (NLWKN 2009a, S. 98):

*„Das Gebiet des Landkreises Goslar ist aus seiner montanhistorischen Entwicklung heraus in weiten Bereichen mit Schadstoffen belastet. Hinsichtlich der Umsetzung der EG-WRRL ist eine den Erfordernissen der EG-WRRL entsprechende Ausnahmeregelung festgelegt worden, die eine montanhistorische und harztypische Grundbelastung als Basis aller folgenden Schritte anerkennt. Der normative gute Zustand der Gewässer ist weder über die Zeit noch durch Maßnahmen erreichbar. Weniger strenge Ziele waren daher zu setzen. Im Rahmen der Planungen zum Wasserbewirtschaftungsgebiet Landkreis Goslar werden verschiedene Konzepte zur Erreichung eines bestmöglichen ökologischen und chemischen Zustandes und zur Trendumkehr vorgelegt.“*

Diese Aussagen sind auch auf den Landkreis Osterode am Harz übertragbar, in welchem sich das Modellbergwerk Bad Grund befindet.

#### 3.4.5.2 Baubedingte Einleitungen in Oberflächengewässer

Im Betrieb des Erzbergwerks Grund wurde das anfallende Grubenwasser über den Ernst-August-Stollen bei Gittelde in die Markau entwässert. Zu Beginn der Förderung im Jahr 1910 betrug die Einleitung in den Stollen ca. 1.400 m<sup>3</sup> am Tag. Am Ende des Betriebs 1992 wurden zwischen 4000 und 5000 m<sup>3</sup> am Tag gefördert. Dies entspricht ungefähr dem Dreifachen der täglichen Erzentnahme von ca. 1.700 t (Rögner, ehemaliger Bergbauingenieur des Erzbergwerks, Tel. am 21.12.2009).

##### Ernst-August-Stollen

Der Ernst-August-Stollen ist der jüngste, längste und tiefste Wasserlösungsstollen im Oberharzer Bergbaurevier. Er entstand zwischen 1851 und 1864, hatte eine Gesamtlänge von

rund 26 km und erreichte auf der Grube Caroline in Clausthal eine Tiefe von 396 m unter Tage. Von Gittelde aus entwässerte er die Gruben der Bergreviere Grund, Silbernaal, Wildemann, Zellerfeld, Clausthal, Bockswiese und Lautenthal im Oberharz.

Nach der Stilllegung der Gruben der Berginspektionen Clausthal und Lautenthal 1930 verlor der Ernst-August-Stollen seine Bedeutung als Wasserlösungsstollen für diese Reviere. Bis 1980 wurde der Stollen von der ehemaligen Grube Bergwerkswohlfahrt (Silbernaal) bis zum Schacht Schreibfeder (Zellerfeld) und die Tiefe Wasserstrecke unterhalten, um die Abfallwasser der Grubenkraftwerke Otiliae- und Kaiser-Wilhelm-Schacht abzuführen. Im Jahre 1992 wurde der letzte Teil zwischen dem Mundloch und dem Wiemannsbuchtschacht aufgegeben, da das Erzbergwerk Grund stillgelegt wurde. Trotzdem fließen noch heute die Grubenwässer aus den angeschlossenen ehemaligen Bergwerken aus dem Mundloch in Gittelde aus (Wikipedia 2009).

Bei der Stilllegung der Grube wurden alle Fahrzeuge zu Tage transportiert, da im Abbau ab 1972 auch dieselgetriebene Geräte eingesetzt wurden und der Gefahr einer Wasserkontamination durch Fette begegnet werden musste. Zusätzlich wurde am Achenbachschacht ein Ölabscheider eingebaut. Das im Rahmen von Leckagen bzw. Betriebsunfällen ausgetretene Öl wurde vollständig vom Verfüllungsmaterial aufgenommen. Als ein bis zwei Jahre nach der Stilllegung der Grube der Schadstoffgehalt des Grubenwassers bestimmt wurde, ergab sich weder eine Belastung mit Schwermetallen noch mit Fetten oder Ölen (Beck, Leiter Bauwesen, SG Bad Grund, Tel. am 21.12.2009).

Das eindringende Grundwasser stieg von der 13. bis zur 4. Sohle auf ca. 150 m Tiefe auf und entwässert von dort in den Ernst-August-Stollen. Etwa 80 m höher gelegen ist der Tiefe-Georg-Stollen, der eine Teilwassermenge aus dem Clausthaler, Zellerfelder und Burgstädter Revier zu Tage führt. Wenn im Zuge der Bauarbeiten die Stollen leergesaugt werden, um die Speicherbecken und Maschinen zu installieren, wird das Grubenwasser über den Ernst-August-Stollen in die Markau eingeleitet. Dabei kann es auch zu Aufwirbelung und Austrag von belasteten Sedimenten kommen. Da in den Ernst-August-Stollen nicht nur das stillgelegte Erzbergwerk Grund, sondern noch weitere stillgelegte Bergwerke entwässern, ist zu prüfen, ob die Umweltqualitätsnormen zur Einleitung in der Markau durch die Summe der Einleitungen (inklusive des untertägigen PSW) eingehalten werden können.

### Die Markau

Die Markau ist ein Nebengewässer der Söse und weist eine Länge von 11 km auf. Sie entspringt im Harz nördlich von Bad Grund in 380 m ü. NN und erreicht nach 7 km den Ort Gittelde, wo der Ernst-August-Stollen einleitet. Nach weiteren 4 Kilometern Fließstrecke mündet sie in ca. 160 m ü. NN kurz oberhalb von Eisdorf in die Söse

Die Bewertung der Gewässerstruktur ergibt, dass die Markau auf den ersten 5 Kilometern, d.h. von der Mündung beginnend bis hinter die Ortslage von Gittelde merklich (Strukturgüteklasse 5) bis deutlich geschädigte (Strukturgüteklasse 6) Gewässerabschnitte aufweist, was darauf zurückzuführen ist, dass die Markau eine gestreckte Linienführung aufweist und insbesondere in Gittelde stark verbaut ist. Erst drei Kilometer oberhalb von Gittelde kann die Markau in die Strukturgüteklassen 2 und 3 eingestuft werden, nämlich dort, wo sie aus dem Harz austritt (NLWKN 2003).

Die Markau weist zwei Gewässergüteklassen auf: Von der Quelle bis Gittelde ist sie organisch gering belastet, d.h. Güteklasse I-II, in Gittelde und bis zur Mündung liegt die Güteklasse II

vor. Die Markau ist seit Mitte der neunziger Jahre unterhalb von Gittelde sowohl in chemischer als auch in biologischer Hinsicht (das Makrozoobenthon betreffend) besser geworden. Bis 1994 nämlich war die Markau an benthischen Makroorganismen noch stark verarmt, d.h. es konnte nur eine Gesamtaxazahl von 6 ermittelt werden, während diese sich 1999 auf 16 und im Jahre 2000 auf 15 mehr als verdoppelte.

Eine Schwermetallanalyse der Markau am 11.09.2000 ergab folgenden Befund:

- Cadmium = 0,4 µg/l = gering belastet.
- Quecksilber = < 0,5 µg/l = gering belastet.
- Chrom<sub>ges</sub> = < 2,0 µg/l = gering belastet.
- Kupfer = 4,0 µg/l = gering belastet.
- Nickel = 3,2 µg/l = gering belastet.
- Blei = 1,7 µg/l = gering belastet.
- Zink = 209 µg/l = mäßig belastet.

Die chemischen Messwerte vom Jahre 2000 bzw. 2001 bestätigen den biologischen Befund einer nur mäßigen organischen Belastung. Die Markau erweist sich ebenso als nahezu frei von belastenden Schwermetallen, lediglich Zink ist in erhöhter Konzentration nachzuweisen. Dies ist mit 209 µg/l für Wirbellose zwar noch unschädlich, da der Grenzwert für die Güteklasse II mit < 300 µg/l (AGA Fließgewässer 1991) angegeben wird, für Forellen ist es jedoch letal (Güteanforderung für Fische bezogen auf Zink < 150µg/l, in der Regel 50 µg/l). Die Zinkbelastung der Markau wird durch den Ernst-August-Stollen verursacht, der der Markau im Jahr 2003 bis zu 352 µg/l Zink zuführte (ebd.).

Messwerte aus dem Jahre 1982 zeigen noch eine Belastung des Gewässers mit 100 µg Blei/l und 560 µg Zink/l (Schnell, Landkreis Osterode, Wasserhörde, Tel. am 6.1.2010).

Nach dem Bewirtschaftungsplan für die Flussgebietsgemeinschaft Weser wird die Markau im Oberlauf bis Gittelde als „erheblich veränderter Gewässerkörper“ (HMWB) mit einem schlechten ökologischen Zustand (Code 5) und einem guten chemischen Zustand (Code 2) eingestuft. In Bezug auf den chemischen Zustand bedeutet dies, dass die Umweltqualitätsnormen derzeit eingehalten werden, in Bezug auf den ökologischen Zustand nicht. Unterhalb von Gittelde bis zur Mündung in die Söse wird der ökologische Zustand als mäßig (Code 3) und der chemische Zustand als gut (Code 1) eingestuft (NLWKN 2009a).

Im Rahmen der Maßnahmenplanung der Flussgebietsgemeinschaft wurden Prioritäten bei der Mittelverwendung und Maßnahmenumsetzung erarbeitet (NLWKN 2009b). Die Markau gehört demnach nicht zu den prioritären Gewässern, für die gegenwärtig spezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen vorgesehen sind (NLWKN 2008).

Auf der Grundlage des Bewirtschaftungsplans und Maßnahmenprogramms der Flussgebietseinheit Weser sowie der gesetzlichen Regelwerke entscheidet sich, ob für die geplanten Einleitungen bei Bau und Betrieb eines untertägigen PSW in Bad Grund eine Erlaubnis nach § 7 WHG erteilt werden kann. Ggf. sind Benutzungsbedingungen und Auflagen erforderlich. Vor dem Hintergrund, dass für die Markau derzeit keine Bewirtschaftungsmaßnahmen festgelegt sind, gilt das allgemeine Verschlechterungsverbot des WHG. Sind Verschlechterungen des ökologischen oder chemischen Zustandes bzw.

Potenzials zu erwarten, kann dem Vorhaben ohne entsprechende Auflagen keine Erlaubnis erteilt werden.

Entscheidend für die Bewertung der Einleitungen durch eine PSW-Anlage im Erzbergwerk Grund sind die zu erwartenden Schwermetalleinträge, die über den Ernst-August-Stollen in die Markau eingeleitet werden können. Hier sind insbesondere die Grenzwerte zu Zink entscheidend, die im Jahr 2003 bis zu 352 µg/l bereits den Kennwert von 300 µg/l der Niedersächsischen Verordnung über Qualitätsanforderungen an Fischgewässer und Muschelgewässer 2007 für Salmonidengewässer überschritten haben. Von Bedeutung ist auch das Schwermetall Blei. Im Betrieb des Bergwerks Grund und durch Überleitung von Wasser aus der Innerste (Bleiverhüttung) durch den Stollen sind vor allem die Fließgewässersedimente von Markau und Söse hiermit belastet worden (Schnell, LK Osterode am Harz, Wasserbehörde, Tel. am 6.1.2010).

Wird zu Beginn der Bauarbeiten das in den stillgelegten Stollen vorhandene Grubenwasser über den Ernst-August-Stollen abgepumpt, stellt sich die Frage, welche Schadstofffracht damit verbunden ist. Zum einen werden ca. 500.000 m<sup>3</sup> Flutungswasser abgepumpt, die sich seit 1992 im Stollen angesammelt haben und möglicherweise mit Schadstoffen belastet sind; zum anderen besteht die Gefahr, dass beim Abpumpen belastete Sedimente aus der Zeit des Bergbaus ausgespült werden oder dass abgelagerte schadstoffhaltige Sedimente im Vorfluter durch die verstärkte Strömung remobilisiert werden. Beim Erzbergwerk Grund sind vor allem die Schwermetalle Blei (Pb), Zink (Zn) und Cadmium (Cd) relevant, wie Wasserproben aus dem Ernst-August-Stollen beim Mundloch in Gittelde zeigen. Zwei Wasserproben aus dem Jahr 1981 (9.9.1981 und 3.11.1981) zeigen, dass das Grubenwasser mit 100 mg Pb/l belastet war (Niedersächsisches Wasseruntersuchungsamt 1981). Die Messwerte vor und nach dem Zulauf in den Ernst-August-Stollen betrugen ebenfalls 100 mg Pb/l. Für Zink wurde eine Konzentration vor der Einleitung des Erzbergwerks 300 µg Zn/l ermittelt, im Grubenwasser 20 bzw. 40 µg Zn/l und danach 480 bzw. 380 µg Zn/l.

Im Mundloch bei Gittelde, dem Eintritt des Ernst-August-Stollens in die Markau, wurden 1983 von März bis Anfang Juli wöchentliche Wasserproben gezogen und analysiert. Hier kommen die Schadstofffrachten mehrerer Bergbaureviere zusammen. Der Durchschnittswert aus den 14 Proben betrug für Zink 1.200 µg Zn/l und für Blei 530 µg Pb/l (Bergamt Goslar 1983).

Im Jahr 1996 betrug die Konzentration des Wassers im Ernst-August-Stollen 306 µg Zn/l und 0,3 µg Cd/l. Die Bleikonzentration lag bei weniger als 1 µg/l. Blei wurde damals vor allem durch die Innerste in den Ernst-August-Stollen eingebracht. 1996 betrug deren Bleikonzentration 20 bis 500 µg/l. Die Innerste ist durch die Bleihütten im Landkreis Goslar belastet und wurde für die Stromerzeugung im Achenbachschacht genutzt. Heute mündet sie nicht mehr in den Ernst-August-Stollen, so dass der Bleieintrag in die Markau entfallen ist (Schnell, LK Osterode am Harz, Wasserbehörde, Tel. am 6.1.2010).

Am 25.08.2009 wurde eine Wasserprobe aus dem Auslauf in den Ernst-August-Stollen entnommen. Es ergaben sich eine Konzentration von 150 µg Zink pro Liter und von 1,5 µg Nickel pro Liter. Weitere Werte wurden nicht bestimmt. Die Leitfähigkeit (bei 25°C) betrug 1096 µS/cm, d.h. das Wasser weist eine deutliche Mineralisation auf, der pH-Wert betrug 7,58 (Labor Hartmann, Göttingen) (s. Tabelle 8).



**Tabelle 8:** Zink-Messwerte in Bezug auf das Bergwerk Grund

Jahr	Orte der Probenahme	Messwerte
1981	Ernst-August-Stollen (vor Bergwerk Grund)	300 µg Zn/l (2 Proben)
1983	Ernst-August-Stollen (nach Bergwerk Grund)	1.200 mg Zn/l (14 Proben)
1996	Ernst-August-Stollen (nach Bergwerk Grund)	306 µg Zn/l
2000	Markau	209 µg Zn/l
2003	Ernst-August-Stollen (nach Bergwerk Grund)	353 µg Zn/l
1981	Auslauf Grubenwasser Bergwerk Grund	20 µg Zn/l; 40 µg Zn/l
2009	Auslauf Grubenwasser Bergwerk Grund	150 µg Zn/l

Betrachtet man die Einleitungen von Zink in die Markau zwischen 1981 und 2009, werden in den meisten Fällen die Umweltqualitätsnormen überschritten. So hat die LAWA die Qualitätsanforderung für Zink für aquatische Lebewesen mit 14 µg/l festgelegt. In den Güteanforderungen für Fische ist ein Wert von 150 µg/l definiert. Der Kennwert der Güteanforderung Fließgewässer (AGA 1991) beträgt für Zink 300 µg/l.

Die Messwerte für Zink im Ernst-August-Stollen können jedoch nur indirekt auf das Erzbergwerk Grund übertragen werden, da der Stollen gleichermaßen die Bergreviere Grund, Silbernaal, Wildemann, Zellerfeld, Clausthal, Bockswiese und Lautenthal entwässert hat und dies auch heute noch tut. Entscheidend sind daher die beiden Messwerte des Grubenwassers aus dem Erzbergwerk Grund. Während die Zink-Konzentration 1981 nur mit 20 µg/l und 40 µg/l gemessen wurde, betrug der Wert 2009 150 µg/l. Dies scheint für eine erhöhte Freisetzung von Schwermetallen seit der Stilllegung des Bergwerks zu sprechen.

Aus den derzeitigen Messwerten kann jedoch weder direkt auf die Konzentration von Schadstoffen in den tieferen Sohlen geschlossen werden, da gesättigte Lösungen schwerer sind und nach unten sinken, noch auf mögliche Sedimente, die beim Leerpumpen aufgewirbelt werden können. Grundsätzlich handelt es sich beim Erzbergwerk Grund um eine sulfidische Lagerstätte. Das heißt, dass die Schwermetalle gebunden sind und beispielsweise als Blei- oder Zinksulfid vorliegen. Ein pH-Wert von 7,58, wie bei Proben vom Einlauf in den Ernst-August-Stollen, führt somit weder zur Bildung von Sulfat noch zur Freisetzung von Schwermetallen. Unklar ist jedoch, wie das dem Grubengebäude zufließende Kluftgrundwasser beschaffen ist. Enthält es Huminstoffe, führt dies auch zur Versauerung des Wassers. Messwerte liegen jedoch für die tiefen Stollen des Bergwerks nicht vor. Daher lässt sich auch nicht ausschließen, dass sich in Teilbereichen der tief gelegenen Stollen saure Wässer aufgrund der Oxidation von Sulfiden zu Sulfat gebildet haben und Schwermetalle in Lösung gegangen sind. Die Tatsache, dass Zink gegenwärtig ausgetragen wird, kann ein Beleg für diese These sein. Diese im Wasser gelösten und an Sedimenten befindlichen Schwermetalle würden dann beim Abpumpen des Grubenwassers konzentriert in den Ernst-August-Stollen eingeleitet, so dass während des Leerpumpens der Grube die Umweltqualitätsnormen zeitweise deutlich überschritten werden könnten.

Die möglichen Schadstoffkonzentrationen im vorhandenen Grubenwasser, das abgepumpt werden muss, können die Genehmigungsfähigkeit oder Wirtschaftlichkeit der PSW-Anlage in Frage stellen. Das Grubenwasser wird vor der Einleitung in den Ernst-August-Stollen zu reinigen sein. Es handelt sich dabei um voraussichtlich 500.000 m<sup>3</sup>. Der dazu zu betreibende Aufwand kann noch nicht abgeschätzt werden. Grundsätzlich sind drei Schritte erforderlich:

- Analyse von Wasser- und Sedimentproben aus den tieferen Stollen,

- Testbetrieb der Wasserhaltung und
- Reinigung des Grubenwassers vor der Einleitung.

Im ersten Schritt sollten Wasserproben aus den tieferen Stollen des Bergwerks analysiert werden, um auf der Grundlage der vorliegenden Messwerte über die Zulässigkeit der Einleitung des Grubenwassers und über die Durchführung von Reinigungsmaßnahmen entscheiden zu können. Da die Schächte jedoch mit Betonplomben verschlossen sind, bietet sich als Vergleich an, eine Wasserprobe aus dem Bergwerk Rammelsberg zu analysieren. Rammelsberg ist zwar ebenfalls stillgelegt, aber die tiefen Sohlen sind noch zugänglich und die geologischen Verhältnisse sind vergleichbar dem Werk Bad Grund (Finkeldey, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Tel. vom 15.1.2010).

#### **3.4.5.3 Entnahme von Wasser für das Auffüllen der Speicherbecken**

Das Wasser zum Befüllen der untertägigen PSW kann aus dem Ernst-August-Stollen entnommen werden, da dieser zeitweise recht viel Wasser führt (Mahr, E-Mail vom 4.1.2010). Beeinträchtigungen eines natürlichen Gewässers sind in diesem Fall ausgeschlossen.

#### **3.4.5.4 Betriebsbedingte Einleitungen in Oberflächengewässer**

Für das Modellbergwerk Bad Grund wird im Bereich der Kraftwerkshalle ein Pumpensumpf eingerichtet. Von diesem aus können die Wässer auf das Niveau des Ernst-August-Stollens gehoben, und wie zu Betriebszeiten der Gruben durch diesen abgeleitet werden (Lampe, Tel. am 5.1.2010). Der Zulauf von Sicker- und Grundwasser kann im Betrieb des PSW durchaus Verhältnisse wie zu Förderzeiten des Bergwerks annehmen.<sup>3</sup> Als das Erzbergwerk 1992 stillgelegt wurde, betrug die Förderung von Grubenwasser zwischen 4000 und 5000 m<sup>3</sup> am Tag (Rögener, ehemaliger Bergbauingenieur des Erzbergwerks, Tel. am 21.12.2009).

Ähnliche Volumina an Grubenwasser können somit im Betrieb des untertägigen PSW in den Ernst-August-Stollen und weiter die Markau eingeleitet werden. Somit ist zu prüfen, ob sich durch die verstärkte Ausleitung auch eine größere, gefährdende Schadstofffracht für die Markau ergeben kann und wie die ggf. erforderliche Wasserreinigungsanlage zu bemessen sein wird.

Nach den vorliegenden Messwerten beträgt der pH-Wert auf Höhe des Ernst-August-Stollens 7,58 (Labor Hartmann, Göttingen). Das bedeutet, dass Schwermetalle sulfidisch gebunden sind und sich nicht in Lösung befinden. Werden die Stollen leergepumpt und für die Speicherbecken teilweise vergrößert, erhöht sich die Oberfläche, an die nun zeitweise Sauerstoff gelangen kann. Da die Speicherbecken keine Abdichtung gegenüber dem Gestein aufweisen, wird ein direkter Kontakt von Wasser und Sauerstoff mit dem Gestein stattfinden (Lampe, Tel. am 5.1.2010). Die Verwitterung der Erze wird leicht beschleunigt, unter Umständen könnte auch der pH-Wert absinken.

In jedem Fall ist davon auszugehen, dass es im Betrieb des untertägigen PSW zu einer Zunahme der Schwermetallemissionen des Bergwerks kommen wird. In welchem Umfang dies sein wird, kann nach gegenwärtigem Kenntnisstand jedoch nicht abschließend

---

<sup>3</sup> Die Menge des heutigen Abflusses in den Ernst-August-Stollen ist unbekannt, könnte jedoch gemessen werden (Lampe, Tel. am 5.1.2010).



beantwortet werden. Einerseits ist es möglich, dass die früheren Schadstofffrachten des Grubenwassers vor allem durch Stäube entstanden, die bei der Erzförderung anfielen und heute größtenteils ausgewaschen sind (Schnell, Wasserbehörde LK Osterode am Harz, Tel. am 6.1.2010). Dann wären im Rahmen der Wasserhaltung des PSW nur geringfügig höher konzentrierte Einleitungen in die Markau zu erwarten. Andererseits ist unklar, welche Beschaffenheit das eindringende Grundwasser haben könnte. Wären darin beispielsweise Huminstoffe gelöst, könnten diese zur Versauerung und Schwermetallfreisetzung führen. In der Folge würden Schwermetalle in entsprechend hoher Konzentration in die Markau eingetragen.

Da die derzeitige Einleitung in den Ernst-August-Stollen bereits den Grenzwert für Zink erreicht, der in den Güteanforderungen für Fische mit weniger als 150 µg/l definiert ist, liegen aus Umweltsicht bereits heute kritische Verhältnisse vor. Aus diesen Gründen ist beim Bergwerk Bad Grund nach gegenwärtigem Kenntnisstand zu erwarten, dass die kontinuierliche betriebsbedingte Ausleitung von Grubenwasser mit erheblich nachteiligen Auswirkungen auf die Markau verbunden sein wird.

#### **3.4.6 Potenzielle Auswirkungen auf das Grundwasser**

Für das Modellprojekt Bad Grund soll auf der untersten Sohle eine Wasserhaltung eingerichtet werden. Auswirkungen auf den oberflächennahen Grundwasserspiegel sind nicht völlig auszuschließen. Da im Bergwerk vor allem die relativ wasserundurchlässigen Gesteine Grauwacke und Diabas vorherrschen, kann voraussichtlich jedoch davon ausgegangen werden, dass es beim Betrieb des PSW an der Oberfläche allenfalls in geringem Maße zur Abnahme des bodenverfügbaren Wassers kommt.

In welchem Umfang dadurch Auswirkungen auf die Vegetation möglich sind, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zu ermesen. Allerdings dürfte die Wasserhaltung des PSW keine stärkeren Effekte nach sich ziehen als diejenigen, welche die Wasserhaltung zu Zeiten der Erzförderung hervorrief.

#### **3.4.7 Potenzielle Auswirkungen auf Klima und Luft**

Mit der Realisierung des Modellprojekts Bad Grund sind nach heutigem Kenntnisstand keine nachteiligen Auswirkungen auf das Klima verbunden.

Schädliche Auswirkungen auf das Schutzgut Luft sind nach Trockenlegung grundsätzlich aus Schwermetallstäuben an verwitternden Förderorten möglich. Sollten Vor-Ort-Untersuchungen zu diesem Ergebnis kommen, ist zu erwägen, die betroffenen Stollen abzudichten.

#### **3.4.8 Potenzielle Auswirkungen auf die Landschaft**

Bei der untertägigen PSW-Anlage in Bad Grund wird davon ausgegangen, dass als obertägige, einsehbare Gebäude die Fördermaschine, das Kontrollgebäude für die Becken, die Schaltwarte mit dem Transformator und die Hochspannungsanlage erforderlich sind. Hinzu kommen die Freileitungen sowie die Zufahrtswege. Die Gebäude können auf dem ehemaligen Werksgelände als Nachnutzung vorhandener Gebäude errichtet werden – sowohl auf dem Gelände des Wiemannsbuchter Schachts als auch des Achenbachschachts. Die erforderliche

Straßenanbindung liegt vor. Lediglich durch den Bau der Stromleitung kann je nach Trassenführung und Ausführung der Masten das Landschaftsbild beeinträchtigt werden. Es wird empfohlen, die Verlegung eines Erdkabels zu erwägen.

Das Gelände des Wiemannsbuchter Schachtes ist überwiegend von hohen Fichtenwäldern umgeben und aufgrund einer engen Talsituation kaum einsehbar (Begründung Bebauungsplan Nr. 14 Wiemannsbucht 1994). Im nördlichen Bereich befindet sich eine alte Halde, die für die Entsorgung des Gesteinsausbruchs reaktiviert und damit erhöht werden kann. Aufgrund der engen Tallage ergibt sich jedoch keine Veränderung der Sichtbeziehungen. Somit sind durch die Errichtung des untertägigen PSW auf dem Gelände des Wiemannsbuchter Schachts keine erheblichen Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch die Umnutzung des ehemaligen Erzbergwerkes zu erwarten.

Im Vergleich dazu ist das Gelände des ehemaligen Achenbachschachts weniger gut sichtgeschützt. Durch hochliegende Flächen ergeben sich Sichtbeziehungen von den gegenüberliegenden Hängen (Begründung Bebauungsplan Nr. 13 Hilfe Gottes). Da jedoch auch hier bestehende Gebäude für die Zwecke des PSW nachgenutzt werden können, ergeben sich auch bei der Nutzung des Achenbachschachtes keine erheblichen Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes.

### 3.4.9 Potenzielle Auswirkungen auf Kultur- und sonstige Sachgüter

Im Landkreis Osterode, in dem das Projektgebiet liegt, genießen Kulturdenkmale seit langem einen hohen Stellenwert und der Landkreis hat eine hohe Dichte an Sach- und Kulturgütern aufzuweisen: „Von besonderem Gewicht für die frühgeschichtliche Siedlungs-, Kultur und Nutzungsgeschichte des Raumes sind (...), die Spuren frühester Gewinnung, Verhüttung und Verarbeitung der Metall- und Eisenlagerstätten des Harzgebirges und des südlichen Harzrandes (Kupferschiefer) sowie des Metallhandels“ heißt es im regionalen Raumordnungsprogramm des Landkreises (RROP 1998, S. 77).

Im Landkreis sind 48 kulturelle Sachgüter von regionalgeschichtlicher Bedeutung angeführt, darunter folgende Sachgüter aus Bad Grund (ebd., S. 78):

- Arboretum Grund, seit 1973, Waldpark, moderne Kulturlandschaft ca. 70 ha reliefierter Wald, Bäume weltweiter Wuchsgebiete
- Grundner Gefälle, seit 1831, wasserwirtschaftliche Anlagen, Teile des techn. Kulturdenkmals Oberharzer Wasserregal, Beispiel einer frühindustriellen Kulturlandschaft; Anlagen noch in Betrieb
- Knesebeckschacht, 19. Jhdt. bis 1991, Erzbergwerk, Museum des industriellen Bergbaus, Hydrokompressor
- Iberg, 2. Jhdt., historischer Eisensteinbergbau, Pingenfelder, Halden, Gruben, Höhlen
- Tiefer Georg-Stollen, 1777-1799, Stollenmundloch, Entwässerung des Oberharzer Grubenreviers

Der Ernst-August-Stollen steht unter Denkmalschutz als teil des Weltkulturerbes "Oberharzer Wasserregal".

Durch den geplanten Standort sowie die voraussichtliche Ausführung der Anlagen des untertägigen PSW darf erwartet werden, dass die angeführten kulturellen Sachgüter von regionalgeschichtlicher Bedeutung nicht beeinträchtigt werden.

Durch eine angemessene architektonische Gestaltung der oberirdischen Bauten könnte ein Beitrag geleistet werden, die bestehenden Industriedenkmale der Montanindustrie zu erhalten und zu pflegen. Dabei sollte keine prägende visuelle Beeinflussung durch gebietsfremde Infrastrukturelemente stattfinden. Vielmehr wäre zu versuchen, die auf dem Werksgelände vorhandene Gebäude, Hallen und Förderschächte durch die PSW-Anlage neu zu nutzen und damit die Bedeutung der kulturhistorischen Sachgüter zu steigern.

## **4 Umweltauswirkungen am Modellbergwerk Pöhla**

### **4.1 Einleitung**

Nachdem die SDAG Wismut 1967 durch Übertagebohrungen im Gebiet um Pöhla große Komplexerzlagerstätten entdeckt hatte, wurde vom Luchsbachtal her mit der Auffahrung eines Stollens in Richtung Tellerhäuser begonnen. Dieser Stollen reichte über 7,845 km bis zum Fuße des Fichtelberges; bei rd. 3 km Stollenlänge wurde die Zinnerz-Lagerstätte Hämmerlein aufgeschlossen. Im hinteren Bereich des Stollens begann man 1970 durch zwei Blindschächte mit der Erschließung der Uranerz-Lagerstätte Tellerhäuser. Zwischen 1979 und 1991 wurden über 13 Haupt- und Nebensohlen insgesamt 1.307,5 t Uranerz gefördert.

Am Stollenmundloch befand sich ein ausgedehntes Betriebsgelände mit der Luchsbachhalde. In den 1980er Jahren wurde an diesem Standort eine radiometrische Erzaufbereitungsanlage errichtet, die jedoch nach dem Probetrieb wieder stillgelegt wurde ([www.wismut.de/sanierung](http://www.wismut.de/sanierung)). Die zuständigen DDR-Behörden hatten Hiller u. Schuppan (2008) zufolge bereits Mitte der 1980er Jahre beschlossen, die Erzgewinnung in Pöhla und benachbarten Standorten einzustellen, u.a. weil die Aufbereitung der Erze durch einen außerordentlich hohen Arsengehalt mit hohen Umweltbelastungen verbunden war. An diesem Beschluss wurde auch nach der Wende festgehalten, obwohl noch 1990, kurz vor Einstellung des Bergbaus, eine Silbererzmine in Pöhla aufgeschlossen wurde (Hiller u. Schuppan 2008).

Mit zunehmender Aufgabe der Bergwerkstätigkeit zwischen 1988 und 1991 wurde die Lagerstätte von 1992 bis 1995 bis in das Niveau der Stollensohle (ca. 600 m NN) geflutet und es wurde mit einer umfangreichen Sanierung begonnen ([www.wismut.de/sanierung](http://www.wismut.de/sanierung); Zinnkammern 2011). Hierbei stand die Demontage und Entsorgung von Gebäuden und die weitgehende Demobilisierung der mit dem Uranbergbau verknüpften toxischen und radioaktiven Böden, Stäuben, Gasen und Abwässern im Vordergrund. Unter anderem wurden dabei auch ca. 740 m<sup>3</sup> radioaktives Rückstandsmaterial aus der Wasserbehandlung in 2.956 Fässern nach unter Tage verbracht und mit 1.700 m<sup>3</sup> Beton im Teilfeld Hämmerlein der Grube Pöhla eingelagert ([wismut.de/sanierung/nla\\_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail](http://wismut.de/sanierung/nla_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail)). Der Wismut GmbH zufolge ist die Sanierung der übertägigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus am Standort Pöhla schon weit vorangeschritten. Sämtliche Anlagen und technologischen Komplexe sind abgerissen. Die Betriebsfläche und die Luchsbachhalde

wurden profiliert und mit Mineralboden abgedeckt. Wasser-, Wege- und Landschaftsbauarbeiten im Bereich der Luchsbachhalde wurden Ende 2008 abgeschlossen

([wismut.de/sanierung/nla\\_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail](http://wismut.de/sanierung/nla_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail)). Die Gesamtkosten für die Sanierung radioaktiver Altlasten der ehemaligen DDR, die mit den Gruben der SDAG Wismut in Sachsen und Thüringen zu den größten Uranproduzenten der Welt gehörte, haben sich seit Anfang der neunziger Jahre auf mehrere Mrd. € summiert (<http://downloads.korg.directserver.org>).

Die der folgenden Einschätzung zugrundeliegenden Informationen über den Standort entstammen im wesentlichen öffentlich zugänglichen Quellen und überwiegend mündlichen Auskünften von Herrn Kunzmann als dem zuständigen Vertreter der Wismut GmbH. Nähere Unterlagen über standörtliche Altlasten und Sanierungsdetails sind nicht bekannt

Der Wismut GmbH zufolge ist insbesondere die Frage des langfristigen Umgangs mit dem anfallenden Grubenabwasser und dessen Reinigung noch nicht abschließend geklärt ([wismut.de/sanierung/nla\\_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail](http://wismut.de/sanierung/nla_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail)). Das kontaminierte Flutungswasser (ca. 1 Mill m<sup>3</sup>) darf nicht mit dem unbelasteten Infiltrationswasser, das der Stollensohle zuläuft, vermischt werden. Daher wird das anfallende Grubenwasser bislang in zwei Teilströmen getrennt abgeleitet. Das Flutungswasser der Grube muss aufgrund seiner Schadstoffgehalte (Radium, Uran, Arsen und Eisen) behandelt werden, bevor es in die Vorflut eingeleitet werden kann. Dazu war bis Oktober 2004 eine konventionelle Wasserbehandlungsanlage (WBA) in Betrieb, mit der die genannten Schadstoffe und zeitweilig auch erhöhte Urangehalte aus dem Flutungswasser ausgefällt wurden. Die Behandlungsrückstände wurden bisher in der Grube Pöhla (Teilfeld Hämmerlein) eingelagert ([wismut.de/sanierung/nla\\_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail](http://wismut.de/sanierung/nla_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail)).

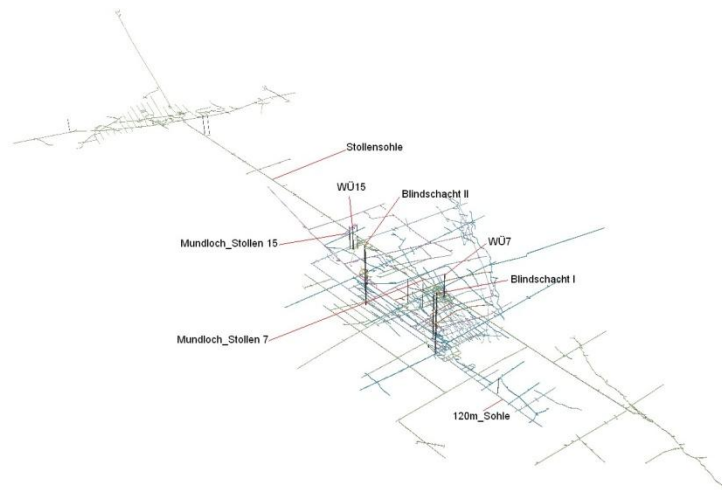
Abbildung 25 zeigt ein Luftbild des Werksgeländes der Grube Pöhla. Bei den ellipsenförmig angeordneten Becken handelt es sich um die Wasserbehandlungsanlage, im Südosten der Fläche befindet sich die Luchsbachhalde.



**Abbildung 25:** Luftbild des Werksgeländes Pöhla (GoogleEarthPro 2011)

### 4.1.1 Vorhabensbeschreibung

Das Modellbergwerk Pöhla umfasst rd. 1,5 Mio. m<sup>3</sup> Hohlraum (Wismut 2011), in Abbildung 26 sind die vorhandenen Gruben Hohlräume in Pöhla aufgezeigt. Für die Anlage am Modellbergwerk Pöhla sollen die Blindschächte 1 und 2 (als Förder-, bzw. Flucht- und Bewetterungsschacht), sowie die Wetterüberhauen WÜ7 und WÜ15 genutzt werden. Eine Möglichkeit zur Auffahrung bietet sich über den Pöhlstollen (Stollensohle, vgl. Abbildung 26).

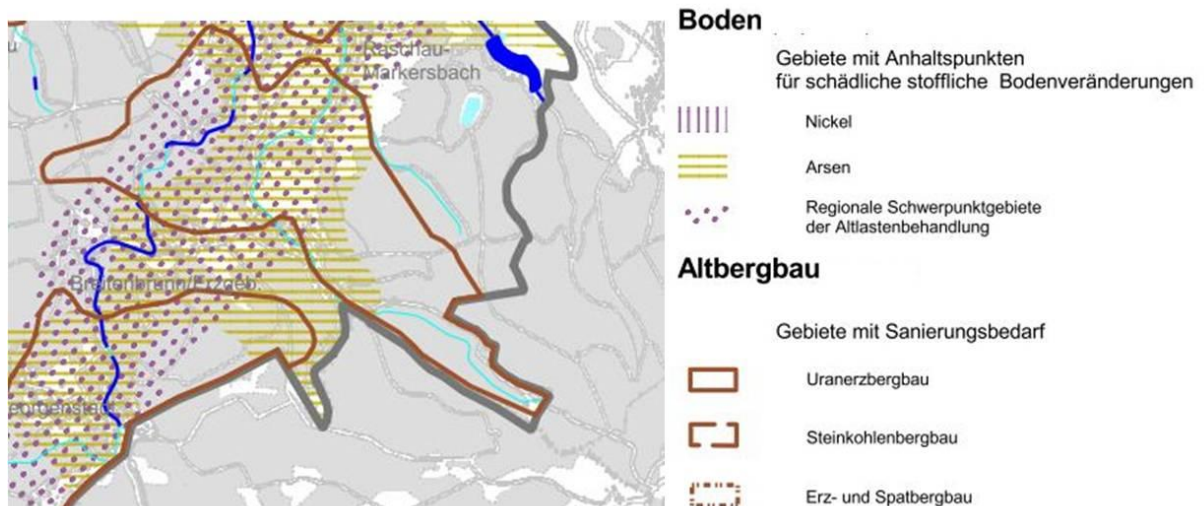


**Abbildung 26:** Vorhandene Gruben Hohlräume am Modellbergwerk Pöhla (Gorczyk, TU-Clausthal, 21.01.2011)

In Abbildung 27 werden die einzelnen Komponenten des PSWuT aufgezeigt. Neu aufgeföhren werden Ober- und Unterbecken (jeweils mit einer voraussichtlichen Kapazität von rd. 320.000 m<sup>3</sup>), der Druckschacht zwischen den Becken (mit einer Länge von rd. 600 m), sowie verschiedene Verbindungen zwischen bestehenden Stollen und Hohlräumen. Als roter Kasten dargestellt ist die Pumpen- und Turbinenkammer mit den unterirdischen technischen Komponenten.



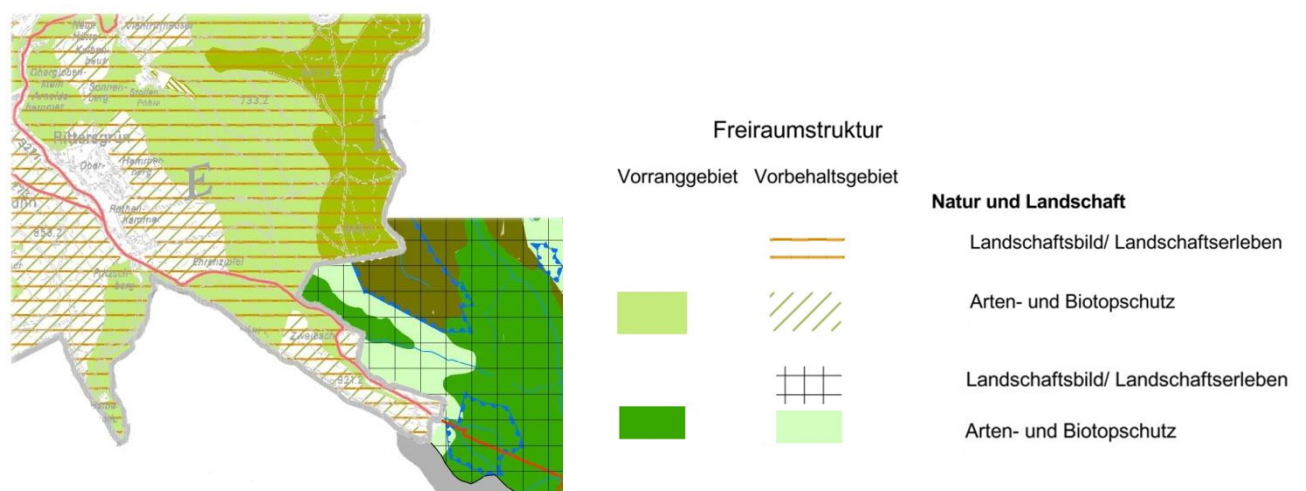




**Abbildung 28:** Sanierungsbedürftige Bereiche der Landschaft (Regionalplan Südwestsachsen)

Im Landschaftsrahmenplan Südwestsachsen werden die Entwicklungsziele für das Obere West- und Mittelerzgebirge wie folgt beschrieben: Das Gebiet soll „als waldreiches [...], mit herausragender Bedeutung für den Naturschutz, klimatischer und hydrologischer Ausgleichsfunktion sowie traditionell bedeutsamer Erholungs- und Fremdenverkehrsfunktion erhalten und [...] weiterentwickelt werden“. Die entsprechenden Handlungsempfehlungen sind in den Regionalplänen aufgeführt.

Die regionalen Planungsverbände Südwestsachsen und Chemnitz-Erzgebirge weisen das Gebiet als Vorbehaltsgebiet für das Landschaftsbild / Landschaftserleben aus. Teile des Gebietes sind als Vorranggebiet für den Arten- und Biotopschutz festgesetzt, der südöstliche Teil lediglich als Vorbehaltsgebiet für den Arten- und Biotopschutz (vgl. Abbildung 29).



**Abbildung 29:** Festsetzung der Regionalpläne Südwestsachsen und Chemnitz-Erzgebirge (Regionalplan Südwestsachsen (2008) und Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge (2008)).



#### 4.2.2 Naturschutzgebiete (§ 23 BNatSchG 2010)

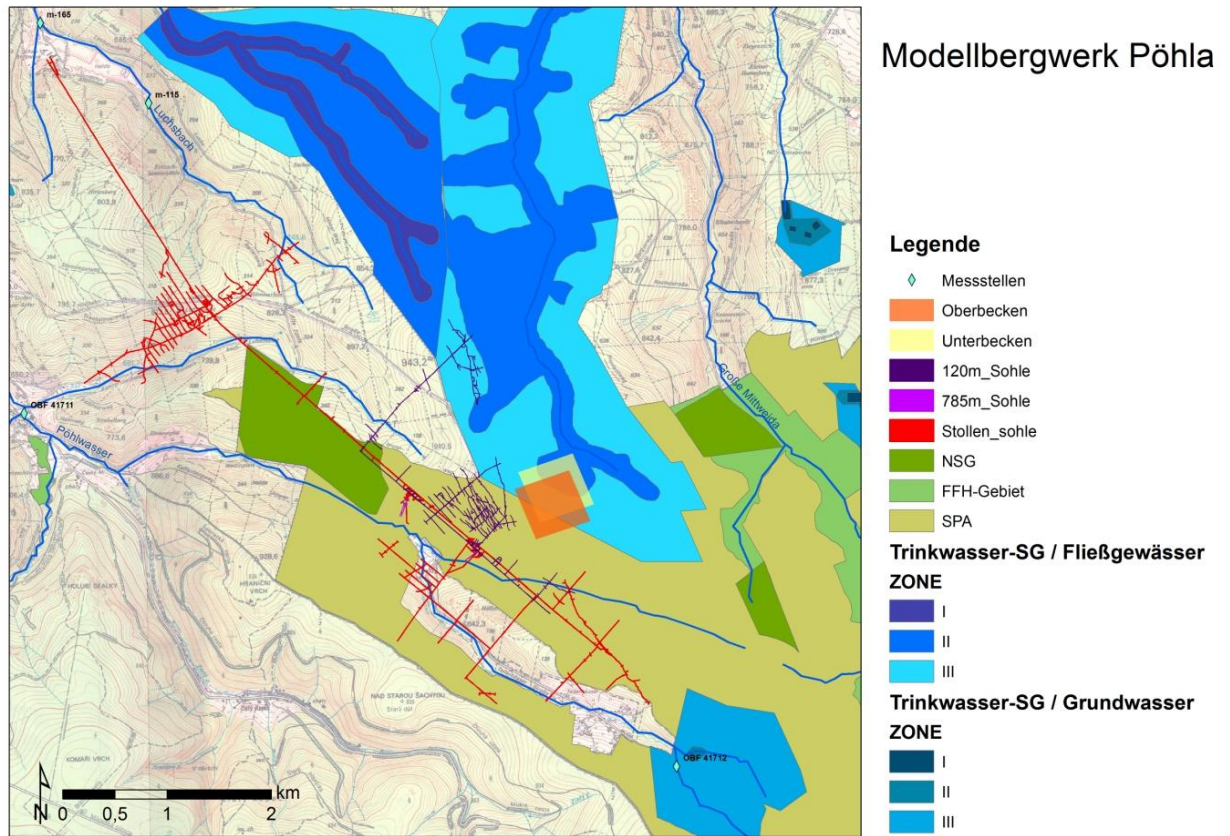
Die grundsätzlichen möglichen Einschränkungen durch Schutzgebiete wurden bereits in den allgemeinen Ausführungen (Kap. 4) dargestellt. Im Folgenden werden lediglich die Verhältnisse am Standort Pöhla dargelegt. Die Flächendaten der relevanten Schutzkategorien wurden vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie als ESRI-shapefiles bezogen<sup>4</sup>, ferner wurden die Regionalpläne der Planungsregionen Südwestsachsen und Chemnitz-Erzgebirge sowie verschiedene thematische Karten zur Beurteilung herangezogen.

Nordwestlich der Siedlung Zweibach liegt das Naturschutzgebiet "Zweibach" mit einer Ausdehnung von 106,8 ha. Nach aktuellem Stand der Planung ist das Gebiet von überirdischen Bauten nicht betroffen, allerdings verläuft der Pöhlstollen (Bezeichnung Stollen\_sohle in Abbildung 30) zwischen den Lagerstätten Hämmerlein und Tellerhäuser auf einer Länge von rd. 1,5 km unterhalb des NSG Zweibach. Das NSG wurde 1961 nach DDR-Recht ausgewiesen und besteht ohne Rechtsverordnung; daher bleibt zu prüfen, inwieweit das Gebiet auch unterirdisch durch § 23 BNatSchG und § 16 SächsNatSchG geschützt ist.

Im Regionalplan Südwestsachsen (2008) ist festgehalten, dass für entsprechende Gebiete im Rahmen der Rechtsangleichung Verordnungen nach geltendem Recht zu erlassen sind.

---

<sup>4</sup> [http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/natur-landschaftsschutz\\_11106.html](http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/natur-landschaftsschutz_11106.html) - 10.02.2011



**Abbildung 30:** Karte der Stollen und Schutzgebiete (eigene Darstellung, Daten der Stollen: Gorczyk, TU-Clausthal)

#### 4.2.3 Landschaftsschutzgebiete (§ 26 BNatSchG 2010)

Südöstlich der Siedlung Tellerhäuser liegt das LSG "Fichtelberg" mit einer Ausdehnung von 719,9 ha. Es grenzt nicht an das Vorhabensgebiet an und stellt somit keine Einschränkung dar.

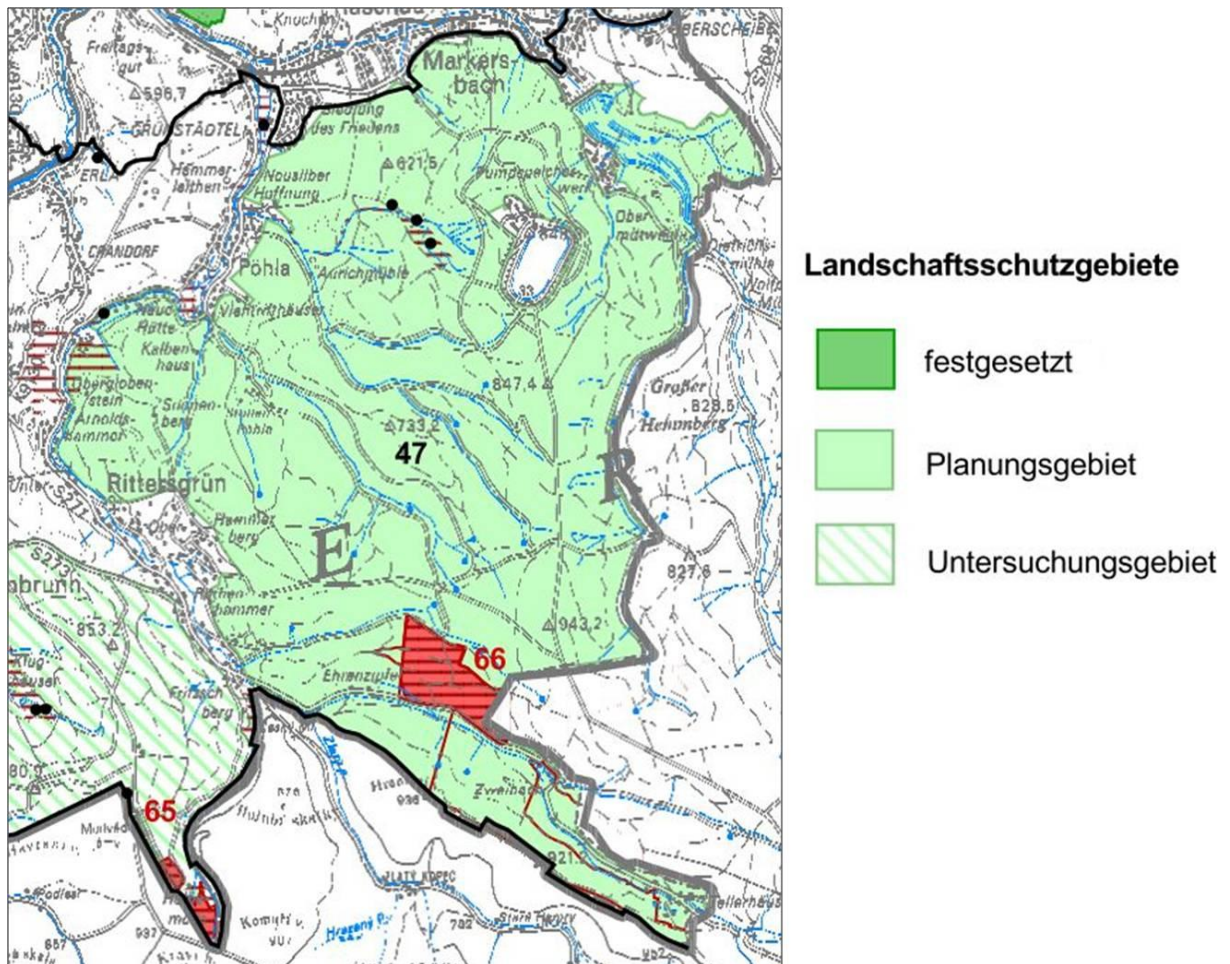
Dem Regionalplan Südwestsachsen zufolge ist es für den Umgebungsschutz und zur Sicherung der Kultur- und Erholungslandschaften erforderlich, weitere regionstypische Landschaftsbereiche unter Landschaftsschutz zu stellen (Regionaler Planungsverband Südwestsachsen 2008). Zu diesen Bereichen zählt das in Abbildung 31 dargestellte LSG-Planungsgebiet "Hundsmarter".

#### 4.2.4 Naturparke (§ 27 BNatSchG 2010)

Das Modellbergwerk Pöhla liegt inmitten des Naturparks Erzgebirge / Vogtland, welcher sich mit 1.495 km<sup>2</sup> Fläche über 70 Städte und Gemeinden in drei Landkreisen erstreckt.

Das Untersuchungsgebiet liegt innerhalb der Naturpark-Schutzzone II (Zweckverband Naturpark Erzgebirge/Vogtland 2003), welche Bereiche außerhalb der im Zusammenhang bebauten Gebiete beinhaltet und vorrangig dem Landschaftsschutz und der Erholungsnutzung vorbehalten ist. In den Schutzzonen des Naturparks sind „alle Handlungen verboten, die erheblich oder nachhaltig den Charakter des Gebietes nachteilig verändern oder dem Schutzzweck zuwiderlaufen, insbesondere wenn dadurch

1. der Naturhaushalt geschädigt,
2. die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter zerstört,
3. das Landschaftsbild nachteilig verändert oder die natürliche Eigenart der Landschaft auf andere Weise beeinträchtigt oder
4. der Naturgenuss oder der besondere Erholungswert der Landschaft beeinträchtigt wird“ (§ 8 Naturparkverordnung).



**Abbildung 31: LSG Planungsgebiet Hundsmarter (Regionaler Planungsverband Südwestsachsen (2008) Karte A 1-4)**

Es wird von der höheren Naturschutzbehörde im Rahmen der Zulassungsverfahren beurteilt werden, ob diese Verbotstatbestände durch die Errichtung eines PSWuT betroffen sind (§ 12).

#### 4.2.5 Europäische Vogelschutzgebiete (§ 32 BNatSchG 2010)

Das Gebiet um das Modellbergwerk Pöhla ist als ein EU-Vogelschutzgebiet ausgewiesen; das "SPA Fichtelberggebiet" umfasst ein Areal von 2.602 ha. Die wertgebenden Vogelarten umfassen laut SLfUG (2006) mindestens acht Brutvogelarten des Anhangs I VSchRL bzw. der Roten Liste Sachsens (Kategorie 1 und 2). Das SPA "Fichtelberggebiet" stellt ein landesweit bedeutsames Gebiet für das Vorkommen von Rauhfußkauz, Schwarzspecht und Sperlingskauz dar. Im Regionalplan Südwestsachsen (2008) wird das Gebiet



zusätzlich als überregional bedeutsames Brut- und Nahrungshabitat verschiedener Vogelarten ausgewiesen. Dabei handelt es sich um die Arten Schwarzstorch, Weißstorch, Uhu, Rotmilan, Raubwürger, Wachtelkönig, Kiebitz und Bekassine. Daraus ergibt sich eine umfassende Verpflichtung zum Schutz der Nist-, Brut- und Wohnstätten von Vögeln.

Im Hinblick auf das Vorhaben sind insbesondere folgende Erhaltungsziele des SPA "Fichtelberggebiet" zu berücksichtigen:

- Erhaltung unzerschnittener Lebensräume insbesondere zusammenhängender Waldgebiete (dies betrifft den Bau von Stromleitungen und Zufahrtswegen),
- Sicherung des Wasserhaushaltes und
- Einhaltung und ggf. Wiederherstellung des naturnahen Zustandes von Fließgewässern.

Letztere sind vor allem während des Betriebes ständig einzuhalten und zu prüfen (SLfUG 2006). Je nach Eingriff und betroffener Vogelart sind verschiedene Restriktionen möglich.

Laut der Verordnung zur Bestimmung des Europäischen Vogelschutzgebietes "Fichtelberggebiet" § 4 Abs. 1 sind weiter zulässig

- „der Betrieb, die Nutzung, die Unterhaltung und die Instandsetzung von Wasserversorgungs- und Abwasserbehandlungsanlagen, Speichern, Rückhaltebecken, Versorgungs- und Fernmeldeleitungen sowie bestehender Gebäude und sonstiger Einrichtungen,
- die Unterhaltung und Instandsetzung öffentlicher Straßen und Eisenbahnstrecken,
- die sonstige bisherige Nutzung der Grundstücke,

soweit hierdurch das Vogelschutzgebiet nicht in seinen für die Erhaltungsziele maßgeblichen Bestandteilen erheblich beeinträchtigt werden kann oder soweit nicht anderweitige Rechtsvorschriften entgegenstehen. [...] Ist eine erhebliche Beeinträchtigung des Vogelschutzgebietes in seinen für die Erhaltungsziele maßgeblichen Bestandteilen zu befürchten, prüft die Naturschutzbehörde, ob die Erhaltungsziele durch vertragliche Vereinbarungen erreicht werden können“ (VO Bestimmung Europäisches Vogelschutzgebiet "Fichtelberggebiet").

Eine unzulässige Beanspruchung des europäischen Vogelschutzgebietes am Standort Pöhla dürfte sich mit großer Sicherheit im Falle eine Freileitungsrealisierung ergeben. Wahrscheinlich werden aber auch darüber hinaus eine Reihe von weiteren Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen ergriffen werden müssen.

#### **4.2.6 Naturdenkmale (§ 28 BNatSchG 2010)**

In den Regionalplänen Südwestsachsen und Chemnitz-Erzgebirge sowie auf den Topographischen Karten 5543-NW und 5543-SW sind keine Flächennaturdenkmale ausgewiesen. Nach Aussage des Landratsamtes Erzgebirgskreis (24.02.2011) befinden sich in der Gemeinde Breitenbrunn lediglich zwei Naturdenkmale (Kandelaber-Linde und Weißtanne), beide nicht im Untersuchungsraum.

#### 4.2.7 Flächen des Biotopverbundes (§ 21 BNatSchG 2010)

Im Bereich des Vorhabens ist ein Biotopverbund ausgewiesen (SLfUG 2007). Im Fichtelberggebiet sind als Kernzonen des Biotopverbundes feucht-frische Grünlandbereiche und die geschlossenen Wälder des oberen Westerzgebirges festgesetzt. Die Flächen zwischen den beiden Bereichen sind als Verbindungsflächen festgelegt.

Die feucht-frischen Grünlandbereiche mit naturnahen Quellbächen (Schwarzwasser, Pöhlwasser, Große Mittweida u.a.) sowie einer hohen Anzahl an Bergwiesen, Borstgrasrasen und Feuchtwiesen finden sich beispielsweise südlich der Lagerstätte Tellerhäuser im Bereich Oberwiesenthal. Weiter nordwestlich sind geschlossene Waldbereiche mit überwiegend Fichtenforsten ausgeprägt. Es handelt sich dabei um naturnahe Wollreitgras-Fichtenwälder und vereinzelt um Hainsimsen-Tannen-Fichten-Buchenwälder, letztere beispielsweise im NSG Zweibach, vgl. Kap. 4.2.2 (SLfUG 2007).

Auf den Kernflächen soll die bestehende ökologische Biotopverbundfunktion eines Gebietes gesichert und eine Verschlechterung verhindert werden; auf den Verbindungsflächen soll die bestehende ökologische Biotopverbundfunktion verbessert und die bestandene partiell wiederhergestellt werden (SLfUG 2007). Grundsätzlich werden Vorhabensauswirkungen auf Kernflächen gegenüber denen auf Verbindungsflächen als gravierender eingeschätzt.

Das Modellbergwerk Pöhla befindet sich auf einer Verbindungsfläche zwischen den genannten Kernflächen.

#### 4.2.8 Schutzgebiete der Wasserwirtschaft

In der Region sind verschiedene Wasserschutzgebiete gemäß §§ 51, 52 WHG ausgewiesen, die im Folgenden dargestellt werden.

Die Trinkwasserschutzgebiete für Fließgewässer im Einzugsbereich der Zwickauer Mulde ("Friedrichsbach" und "Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida") erstrecken sich östlich entlang des Pöhlstollens.

Der Bereich innerhalb eines Umgebungsradius von 100 m entlang des Friedrichsbachs ist als Schutzzone I ausgewiesen. Diese Fassungszone soll die Fassungsanlage und ihre unmittelbare Umgebung vor jeglicher Verunreinigung und Beeinträchtigung schützen (SächsWG). Daran schließt sich eine Schutzgebietsausweisung der Zone II (engere Schutzzone) an. Diese Schutzzone soll insbesondere den Schutz vor Verunreinigungen, sowie vor sonstigen Beeinträchtigungen gewährleisten, die wegen ihrer geringen Entfernung zur Gewinnungsanlage gefährlich sind (SächsWG). Im südlichen Teil wird das Trinkwasserschutzgebiet durch die Schutzkategorie der Zone III (weitere Schutzzone) abgeschlossen. Diese Schutzzone soll den Schutz vor erheblichen Beeinträchtigungen, insbesondere vor nicht oder nur schwer abbaubaren chemischen und radioaktiven Verunreinigungen gewährleisten, die geeignet sind, die menschliche Gesundheit zu schädigen (SächsWG).

Das Trinkwasserschutzgebiet "Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida" ist entlang derer Quell- und Nebenflüsse als engere Schutzzone (Zone II) und rd. 100 - 200 m von den Fließgewässern entfernt als weitere Schutzzone (Zone III) ausgewiesen. Auf Höhe der Lagerstätte Hämmerlein reicht der Stollen (Bezeichnung 120m\_Sohle in Abbildung 30) rd.

400 m in Zone I und rd. 40 m in Zone II hinein. Nach aktuellem Stand der Planung (07.03.2011) werden die Becken unterhalb des Trinkwasserschutzgebietes "Kleine Mittweida" liegen (vgl. Abbildung 30). Laut § 4 der Schutzgebietsverordnung der "Oberflächenwasserfassung Kleine Mittweida" sind in der Schutzzone II unter anderem das Bohren und Sprengen (Abs. 4), das Aufstellen von Baustelleneinrichtungen (Abs. 6) und die Durchführung von Erdbewegungen und Aufschüttungen (Abs. 8) verboten. Befreiungen kann die Untere Naturschutzbehörde erteilen, wenn „überwiegende Interessen des Allgemeinwohls oder des Einzelnen dies erfordern und der Zweck der Schutzbestimmung auf andere Weise gewahrt wird“ (§ 8 WSGVO).

Südöstlich der Siedlung Tellerhäuser, an den Quellen des Klingerbachs, befindet sich das Trinkwasserschutzgebiet für Grundwasser "TB Tellerhäuser" mit einer Ausdehnung von rd. 150 ha. Das TW-Schutzgebiet ist größtenteils als Schutzzone III deklariert, lediglich die zentralen Bereiche sind stärker geschützt. Da das Schutzgebiet weder von Stollen noch von Becken unterlagert wird, kommt es folglich zu keinen direkten Beeinträchtigungen durch die Anlage eines unterirdischen PSW in den Stollen der Grube Pöhla.

Südwestlich der Siedlung Tellerhäuser liegt das Trinkwasserschutzgebiet für Grundwasser "Stolln 336 (Segen Gottes Stolln)". Auch dieses Gebiet von rd. 70 ha ist größtenteils als weitere Schutzzone (Zone III) geschützt, wird nach bisherigem Wissensstand nicht unterirdisch berührt und stellt somit keine Einschränkung für das Projekt dar. Dies gilt ebenso für das rd. 50 ha große Trinkwasserschutzgebiet für Grundwasser "Pöhla II und III (Kalbenhaus)", nordöstlich der Siedlung Rittersgrün.

In einer Planungsvariante für ein PSWuT sollen Ober- und Unterbecken Bereiche der Schutzzonen II und III des Wasserschutzgebiets "Kleine Mittweida" in Anspruch nehmen. Bodenaufschlüsse, bergbauliche Arbeiten, Einsatz schwerer Technik etc. sind in diesem Wasserschutzgebiet jedoch verboten. Die Chancen, dass die zuständige Wasserbehörde für ein ein Pumpspeicherwerk unter Tage eine Ausnahmegenehmigung erteilt, werden von uns als gering angesehen, da mit schwerer Technik in diesem vielfach als Altlast anzusprechenden Gebiet zwangsläufig auch Schadstoffmobilisierungen einhergehen.

Die beschriebenen Wasserschutzgebiete werden im Falle einer Flächenbeanspruchung oder im Falle sonstige Auswirkungen des PSWuT auf diese Gebiete mit großer Sicherheit zur Feststellung der Unzulässigkeit des Vorhabens führen. Es ist daher in der weiteren Planung höchste Sorgfalt darauf zu verwenden, diese Gebiete nicht zu beeinträchtigen. Der Schutz vor erheblichen Beeinträchtigungen, insbesondere vor nicht oder nur schwer abbaubaren chemischen und radioaktiven Verunreinigungen ist nicht gewährleistet, wenn solche Stoffe auf dem Wege der erforderlichen Wasserhaltung mobilisiert werden und in die geschützten Gebiete gelangen können. Steht das Grundwasser der Schutzgebiete während des Betriebes eines PSWuT mit diesem in Wechselwirkung, kommen mögliche Gefährdungen durch Drainage der Wassereinzugsgebiete hinzu.

#### **4.2.9 Forstliche Schutzgebiete**

Im Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge wird das Gebiet als "Regionaler Schwerpunkt der Waldsanierung" gekennzeichnet. In dieser Immissionsschadzone / Revitalisierungszone sind die Wälder so zu sanieren und zu pflegen, dass sie auf längere Sicht ihre Funktion wieder nachhaltig erfüllen können.

In Zusammenhang mit der Anlage eines PSW unter Tage muss sichergestellt werden, dass das Grundwasser durch den Betrieb weder qualitativ noch quantitativ beeinträchtigt wird und dass keine negativen Einflüsse auf den Waldboden auftreten.

#### **4.2.10 Verdachtsflächen, Altlasten, altlastenverdächtige Flächen**

Im Freistaat Sachsen können an Flächen mit flächenhaft schädlichen Bodenveränderungen zum Schutz, zur Sanierung oder aus Gründen der Vorsorge Bodenplanungsgebiete ausgewiesen werden und ihnen besondere Auflagen (Verbote, Beschränkungen und Schutzmaßnahmen) zugeteilt werden (§ 9 SächsABG).

Zwar wird die Region um Pöhla im Regionalplan Südwestsachsen (2008) als Altbergbaug Gebiet mit Sanierungsbedarf ausgewiesen. Auch liegt das Gebiet am Rande einer ausgedehnten arsenbelasteten Zone. Eine Ausweisung als Bodenplanungsgebiet nach § 2 BBodSchG hat in den Regionen Chemnitz-Erzgebirge und Südwestsachsen bisher jedoch nicht stattgefunden (Landschaftsrahmenplan Südwestsachsen).

Der Uranbergbaustandort ist v.a. aufgrund umfänglicher Vorbelastungen durch Radionuklide und durch Arsen weiträumig als Altlast anzusprechen. Der Abraum aus dem Uranbergbau befindet sich auf der Luchsbachhalde, die von der Wismut GmbH in den vergangenen Jahren mit Bodenmaterial abgedeckt wurde. Toxische und radionukleide Hinterlassenschaften des Bergbaus finden sich darüberhinaus jedoch auch in den Gewässersedimenten und Boden.

In einem Verwaltungsabkommen zwischen der BRD und dem Freistaat Sachsen (2003) wurde eine umfassende Sanierungsverpflichtung für die sog. Wismut-Altstandorte des Uranbergbaus fixiert. Gleichzeitig gibt auch das Bundesberggesetz eine Sanierungsverpflichtung der Wismut GmbH zur Wiedernutzbarmachung der betreffenden Objekte vor.

### **4.3 Schutzgutbezogene Restriktionen (Pöhla)**

#### **4.3.1 Potenzielle Auswirkungen auf den Menschen, einschließlich menschlicher Gesundheit**

Beeinträchtigungen des Schutzgutes Mensch sind grundsätzlich durch Störungen während der Bauzeit, Bergschäden und durch eine Verunreinigung des Trinkwassers möglich. Darüber hinaus sind gesundheitliche Auswirkungen durch die Mobilisierung von Radionukliden möglich.

Für den Bau sind 160 Arbeitstage im Jahr (Protokoll vom 08.02.2011) über einen Zeitraum von vier Jahren veranschlagt, an denen mit einem hohen LKW-Aufkommen gerechnet wird (76 LKW/d); zusätzlich muss in der Bauphase eine Stromversorgung – voraussichtlich mittels Generator – für die Bauzeit hergestellt werden. Der daraus resultierende Lärmpegel könnte das auf dem Werksgelände gelegene Besucherbergwerk beeinträchtigen. Vor dem Hintergrund, dass in der Region die touristische Entwicklung



ein wichtiges Entwicklungsziel ist, muss dies als erhebliche Beeinträchtigung gewertet werden (Landschaftsrahmenplan Südwestsachsen 2008).

Die Geologie im Untersuchungsgebiet wird durch flach lagernde Folgen kristalliner Schiefer bestimmt. Diese werden überwiegend von eluvialen Verwitterungsbildungen, in den Tälern auch von alluvialen Ablagerungen überdeckt (Jarrah, IBB, 07.02.2011). Unter dem Schiefer steht Granit an, der deutlich standfester als die oberen Lagen ist. Die für die Anlage notwendige Erweiterung der Stollen kann die Standsicherheit der Grube beeinträchtigen. Um etwaige nachteilige Auswirkungen zu vermeiden, müssen in Stollen und Speicherbecken entsprechende Stütz- und Ausbauelemente installiert werden.

Eine Gefährdung der Trinkwasserqualität ist nicht zulässig und muss auf jeden Fall vermieden werden. Die Uran-Förderung hat Weish u. Gruber (1986) zufolge in der Vergangenheit die Qualität des Trinkwassers von weiten Regionen in Sachsen durch radioaktive und stark toxische Substanzen gefährdet. Die Region gehört auch heute dem Bundesamt für Strahlenschutz zufolge zu den am schwersten mit Radon im Trinkwasser belasteten Gebieten Deutschlands. Im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens wird daher ausführlich und kritisch geprüft werden, inwieweit eine Reaktivierung der Grube neuerliche Kontaminationen und Schwermetallbelastungen des Grundwassers auslösen kann. Insbesondere auch der hohe Arsengehalt von Abraum und Grubenabwässern ist hierbei nicht unkritisch.

Uran wirkt nicht nur radioaktiv, sondern wie andere Schwermetalle v.a. auch stark toxisch. Durch den Genuss von Trinkwasser mit höheren Urangelhalten kann es z.B. zu Nierenkarzinomen kommen. Die Uran-Bergarbeiter waren darüber hinaus Belastungen durch das Edelgas Radon und durch radioaktive Stäube (u.a. Radium) mit der Folge eines 45fach erhöhten Lungenkrebsrisiko ausgesetzt ([www.umweltlexikon-online.de/RUBwerkstoffmaterials substanz/Uran.php](http://www.umweltlexikon-online.de/RUBwerkstoffmaterials substanz/Uran.php)). Radon entsteht beim Zerfall von Uran, dringt aus dem Boden in Gebäude ein und kann sich dort anreichern. Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt für Daueraufenthaltsräume eine Radon-Konzentration von nicht mehr als 100 Bq/m<sup>3</sup> ([www.bmu.de](http://www.bmu.de)). Die Häuser in Uran-Abbaugebieten kennzeichnen sich dagegen vielfach durch deutlich höhere Radon -Werte mit Spitzen bis zu 30.000 Bq/m<sup>3</sup>, wobei als Quelle dafür v.a. Radon-Ansammlungen aus Uran-Bergwerksstollen und Halden genannt werden (Katalyse-Umweltforschung 2011). Radongehalte in Häusern in Pöhla bzw. im besucherbergwerk sind nicht bekannt.

Die inhalative Arsenbelastung im sog. E-Staub bei bergmännischen Tätigkeiten lag im Bergwerk Pöhla Tellerhäuser den Autoren Bauer und Stoyke (2005) zufolge mit 451 mg/kg Arsengehalt (Jahresmittel) deutlich über dem Abschneidekriterium von 100 mg/kg. Die geplante gemeinsame Nutzung eines 3 km langen Stollens für das Wegschaffen von Abraum und das Besucherbergwerk, wird voraussichtlich mit erheblichen Staub-, Gas- und Lärmbeeinträchtigungen für die Angestellten und Gäste des Besucherbergwerks verknüpft sein. Dabei kann es zu deutlichen Schadstoffbelastungen auf dem Luftpfad kommen.

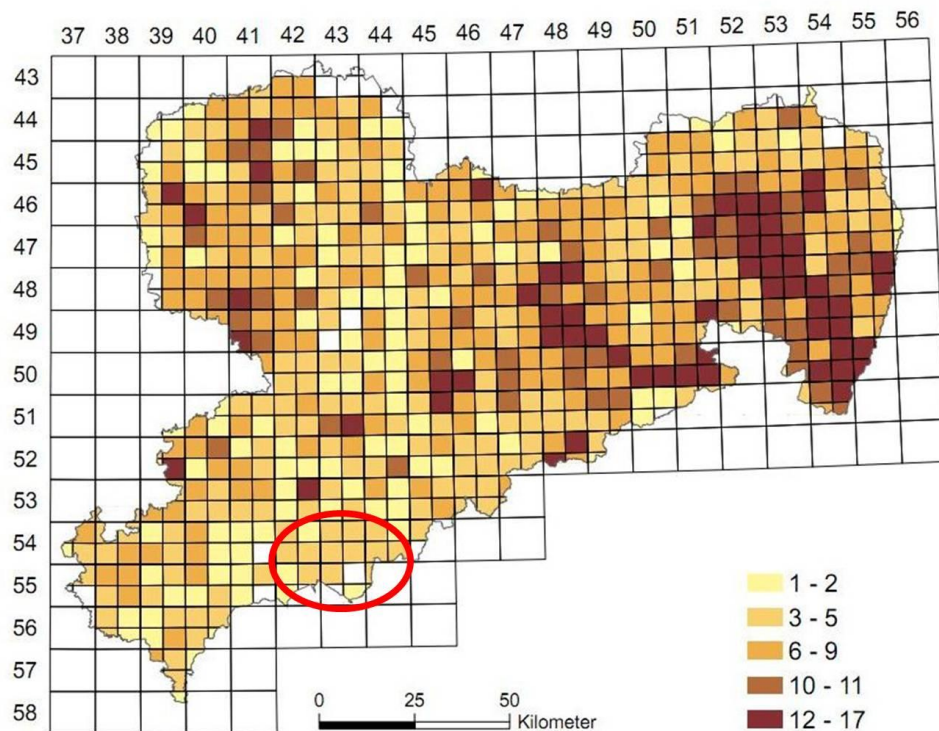
Vor dem skizzierten Hintergrund einer möglichen Mobilisierung von extrem toxischen Schwermetallen und Radionukliden (u.a. Uran, Radium, Radon, Arsen) ist die erneute Öffnung des ehemaligen Uranbergwerks in Pöhla zum Bau und Betrieb eines PSW ist mit äußerster Skepsis hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen für Betriebsmitarbeiter und umgebende Einrichtungen (Besucherbergwerk) zu betrachten. Im

Fälle einer Trinkwasserbeeinträchtigung entstehen Risiken selbst für weit entfernte Siedlungen (Grundwassereinzugsgebiet).

#### 4.3.2 Potenzielle Auswirkungen auf Tiere, insbesondere Fledermäuse

Gegenwärtig kommen im Freistaat Sachsen 20 von den 23 in Deutschland verbreiteten Fledermausarten vor (NABU 2010). Eine Auflistung der Arten findet sich im Atlas der Säugetiere Sachsens (Hauer et al. 2009). In einer Rasterkartierung nach Messtischblatt (MTB) wurden Daten seit 1990 ausgewertet und die räumliche Verteilung der Arten aufgezeichnet. Für das Untersuchungsgebiet wurden alle Arten erfasst, die in einem der vom Untersuchungsgebiet benachbarten MTB registriert wurden (vgl. Abbildung 32).

Von den dort kartierten acht Arten ist für sieben die generelle Nutzung unterirdischer Hohlräume als Winterquartier bekannt (vgl. Tabelle 9). Für Fledermäuse stellen ungenutzte Stollen aufgegebener Bergwerke geeignete Winterquartiere dar, da sich dort die Temperatur konstant hält und sie ungestört überwintern können.



**Abbildung 32:** Anzahl erfasster Fledermausarten (Chiroptera) je MTB ab 1990 (HAUER et al. 2009). Die ovale Markierung zeigt in etwa das zur Untersuchung herangezogene Gebiet.

In Tabelle 9 werden die entsprechenden Arten aufgelistet und ihre Verhaltensmuster aufgezeigt. Darüber hinaus ist laut Regionalplan Südwestsachsen in der Umgebung des Bergwerks kein Gebiet mit besonderer Bedeutung für den Fledermausschutz ausgewiesen. Es sollte frühzeitig vor Ort am Modellbergwerk geprüft werden, ob Fledermäuse einen oder mehrere Stollen als Winterquartier nutzen. Ist dies der Fall, greifen artenschutzrechtliche Verbote, da Ruhestätten der Fledermäuse nicht beschädigt oder zerstört werden dürfen. Es muss sichergestellt werden, dass die Tiere die ursprünglichen Stollen oder Ersatzstollen nutzen können.

**Tabelle 9:** Artverhalten der registrierten Fledermäuse

Art	Verhalten, Biologie
Braunes Langohr ( <i>Plecotus auritus</i> )	Jagdgebiet in Siedlungen, an Gebüsch / Baumkronen, auch in Kuhställen und über Grünland; Sommerquartier v.a. in Dachböden / Kirchtürmen; Winterquartier in Kellern, Stollen, Höhlen oder Dachböden; sowohl typische „Wald-“, als auch „Siedlungsfledermaus“, Spezialisierung auf Wahrnehmung ruhender Beute z.B. auf Blättern oder Blüten (Albrecht 2008).
Breitflügelfledermaus ( <i>Eptesicus serotinus</i> )	Jagdgebiet in reich strukturierten Landschaften einschließlich der Dörfer, oft über Grünland und in lichten Baumbeständen; Sommerquartier meist in Dächern unter Ziegeln, hinter Verkleidungen und in Spalten an Gebäudefassaden; Winterquartier in unterirdischen Quartieren (Albrecht 2008).
Fransenfledermaus ( <i>Myotis nattereri</i> )	Jagdgebiet in Wäldern und gehölzreichen Gebieten; Sommerquartier in Wäldern (Baumhöhlen, Nistkästen) oder Hohlblocksteinen, Ställen und Scheunen; Winterquartier in unterirdischen Quartieren aller Art; in Bäumen gelegene Wochenstuben, im Wald als Wochenstubenverband (Tiere wechseln in unterschiedlichen Gruppen zwischen benachbarten Quartieren) (Albrecht 2008).
Großes Mausohr ( <i>Myotis myotis</i> )	Jagdgebiet in Laubwäldern und laubholzreichen Mischwäldern mit unbedecktem Boden, frisch gemähten Wiesen und Weiden; Sommerquartier in Dachböden, Kirchen und Schlössern; Winterquartier einzeln oder in Gruppen in Höhlen, Kellern und Kasematten; Mausohr-Weibchen bilden im Sommer große Kolonien (> 1.000 Tiere), spezialisiert auf Raschelgeräusche im trockenen Laub (Albrecht 2008).
Große Bartfledermaus ( <i>Myotis brandtii</i> )	Jagdgebiet in Wäldern und an Gewässern, auch in gehölzreichen Siedlungsteilen; Sommerquartier in Gebäudespalten, Dachböden und Flachkästen; Winterquartier in Höhlen, alten Bierkellern und Stollen (Albrecht 2008).
Nordfledermaus ( <i>Eptesicus nilssonii</i> )	Jagdgebiet in Siedlungsbereichen (z.B. im Umfeld von Straßenlaternen), an Gewässern und Waldrändern; Sommerquartier in Spalten an Gebäuden, z.B. hinter Holzschindeln und Verkleidungen, sowie im Dachbereich; Winterquartier an unterirdischen Orten, insbesondere in Höhlen und Stollen (Albrecht 2008).
Wasserfledermaus ( <i>Myotis daubentonii</i> )	Jagdgebiet über Gewässern, auch in Wäldern; Sommerquartier in Baumhöhlen in Wäldern und Parks, gelegentlich in Brückenspalten; Winterquartier in Höhlen, Stollen und Kellern (Albrecht 2008).

### 4.3.3 Potenzielle Auswirkungen auf Pflanzen

Die Wälder und Wiesen des Fichtelberggebietes werden als landesweit bedeutsam eingestuft. Laut SLfUG (2007) findet sich dort eine „herausragende Flora gefährdeter Arten mit landesweit einzigen Vorkommen von Quirlblättrigem Weidenröschen (*Epilobium alpestre*), Mierenblättrigem Weidenröschen (*E. alsinifolium*), Bitterem Enzian (*Gentianella amarella*), Alpen-Mastkraut (*Sagina saginoides*), Gebirgs-Eberesche (*Sorbus aucuparia* ssp. *glabrata*), Tarant (*Swertia perennis*)“; daneben „überregional bedeutsamen

Vorkommen von Ausgebreitetem Frauenmantel (*Alchemilla effusa*), Gebirgs-Frauenfarn (*Athyrium distentifolium*), Transsilvanischem Knabenkraut (*Dactylorhiza fuchsii* ssp. *transsilvanica*), Alpen-Flachbärlapp (*Diphasiastrum alpinum*), Breitblättrigem Wollgras (*Eriophorum latifolium*), Grünem Alpenlattich (*Homogyne alpina*), Weißzüngel (*Pseudorchis albida*), Gebirgs-Sauerampfer (*Rumex arifolius*), Alpen-Goldrute (*Solidago virgaurea* ssp. *minuta*), Stängelumfassendem Knotenfuß (*Streptopus amplexifolius*)“ und „bemerkenswerte Vorkommen von Gefaltetem Frauenmantel (*Alchemilla plicata*), Wenigblütiger Segge (*Carex pauciflora*), Alpen-Milchlattich (*Cicerbita alpina*), Gewöhnlicher Krähenbeere (*Empetrum nigrum*), Hain-Augentrost (*Euphrasia nemorosa*), Tannen-Bärlapp (*Huperzia selago*), Platanenblättrigem Hahnenfuß (*Ranunculus platanifolius*), Großem Klappertopf (*Rhinanthus angustifolius*), Harz-Greiskraut (*Senecio hercynicus*), Bach-Greiskraut (*Tephrosia crispa*), Moor-Klee (*Trifolium spadiceum*).“

Da alle oberirdischen Gebäude des PSW neu errichtet werden müssen (Auskunft Frau Gorczyk, 01.02.2011), sollte durch eine optimierte Standortsuche eine Beeinträchtigung von hochwertigen Vegetationsstrukturen ausgeschlossen werden.

Zusätzlich muss geklärt werden, inwiefern sich eine etwaige Grundwasserabsenkung auf das pflanzenverfügbare Wasser auswirkt und ob dadurch negative Auswirkungen für die Pflanzenwelt auftreten können.

#### 4.3.4 Potenzielle Auswirkungen auf den Boden

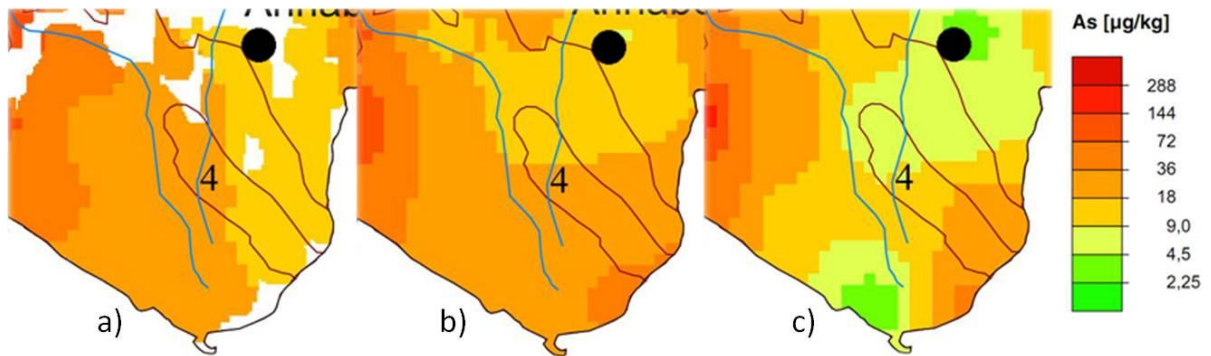
Für die Anlage eines PSW am Modellbergwerk Pöhla müssen verschiedene bodenbeeinflussende Arbeiten durchgeführt werden. Oberirdisch werden Gebäude und Infrastruktur errichtet, unterirdisch werden Schächte und Stollen ausgebaut. Die dabei abgetragenen Boden- und Gesteinsmengen müssen gelagert und/oder abtransportiert werden. Dabei können Schadstoffe mobilisiert werden. Unbelastetes Material kann wieder in die Stollen eingebaut werden und somit die Standfestigkeit der Grube erhöhen.

Ein Standort für die oberirdischen Anlagen steht noch nicht fest (07.03.2011), der Abraum von Ober- und Unterbecken soll über den Stollen 7 (siehe Abbildung 26) und über den Pöhlstollen aufgefahren werden.

Detaillierte Bodenschadstoffwerte für das Grubengelände liegen nicht vor. Hilfsweise wird auf Bodenmessdaten aus dem Bodenatlas des Freistaates Sachsen zurückgegriffen, der Messpunkte in einem 4 km x 4 km raster aufführt.

Belastungen der Böden treten im Erzgebirge aus geogenen und anthropogenen Quellen auf (SLfUG 2000). Die Prüfwerte der BBodSchV sind in Tabelle 6 (Kap. 3.4.4) der allgemeinen Ausführungen festgehalten. Unter anderem zeichnen sich die uranführenden Mineralisationen des Erzgebirges durch eine starke Arsen-Führung aus, die auch ihre Nebengesteine beeinflussen. Diese geogene Bodenbelastung erhöht sich durch anthropogene Einträge von Arsen aus der Verhüttung polymetallischer Erze und Zinnerze (SLfUG 2000) z.T. erheblich; besonders deutlich tritt dieser Effekt an Waldstandorten auf.

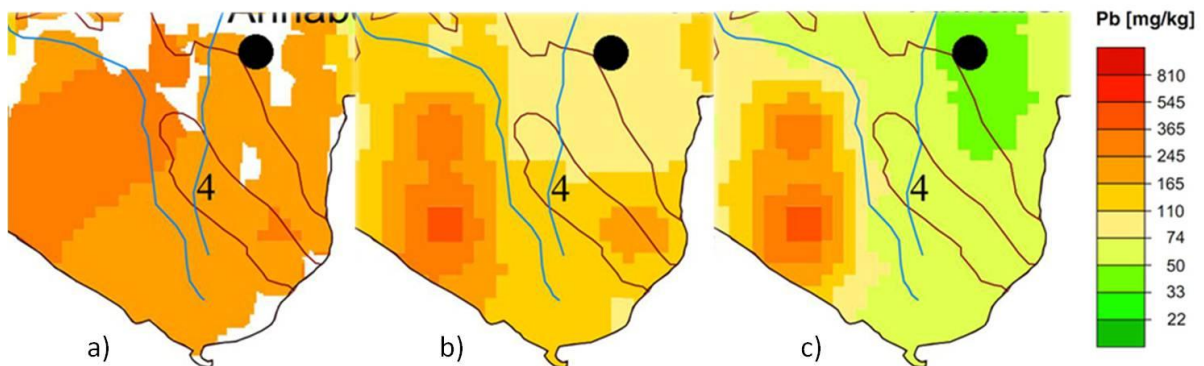




**Abbildung 33:** Arsengehalte (SLfUG 2000) a) in der organischen Auflage b) im mineralischen Oberboden c) im Unterboden

Abbildung 33 zeigt die Arsengehalte in  $\mu\text{g/kg}$  in drei verschiedenen Tiefen des Untersuchungsgebietes. Die Messwerte im Gebiet der Grube Pöhla zeigen allesamt Werte zwischen 9 und  $72 \mu\text{g/kg}$ , wobei die Werte mit der Tiefe tendenziell abnehmen. Der Prüfwert (BBodSchV) für Arsen liegt bei  $25 \text{ mg/kg}$ .

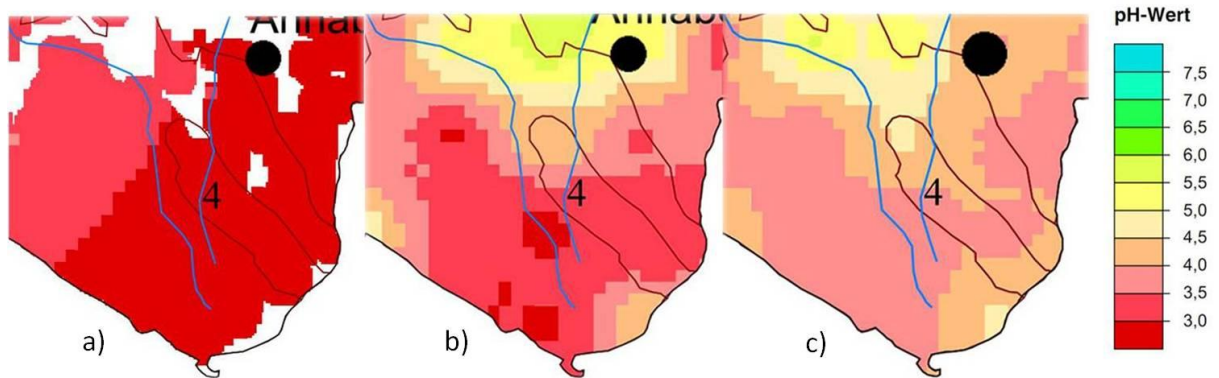
Neben Belastungen durch Arsen treten in der Erzrevieren des Mittel- und Westerzgebirges großflächig erhöhte Blei-Gehalte auf (SLfUG 2000).



**Abbildung 34:** Blei-Belastungen (SLfUG 2000) a) in der organischen Auflage b) im mineralischen Oberboden c) im Unterboden

Abbildung 34 zeigt die Blei-Gehalte in  $\text{mg/kg}$  in drei unterschiedlichen Tiefen des Untersuchungsgebietes. Die Werte am Standort Pöhla reichen bis maximal  $545 \text{ mg/kg}$ . Während sie in der organischen Auflage gleichmäßig verteilt zwischen 165 und  $365 \text{ mg/kg}$  liegen, ist die Belastung in Ober- und Unterboden eher punktförmig ausgebildet und erreicht ihr Maximum im Bereich der Lagerstätte Hämmerlein.

Neben Belastungen durch Schwermetalle wurden die Wälder der Region in der Vergangenheit erheblich durch  $\text{SO}_2$ -Immissionen geschädigt. „Pufferschwache Böden sowie die Fließgewässer entsprechender Einzugsgebiete leiden unter Versauerung“ (SLfUG 2007).



**Abbildung 35:** pH-Werte (SLfUG 2000) a) in der organischen Auflage b) im mineralischen Oberboden c) im Unterboden

Abbildung 35 zeigt die pH-Werte der Region Westerzgebirge/Ostvogtland: Die Böden des Untersuchungsgebietes zeigen durchgängig eine Versauerung auf, die mit der Tiefe abnimmt. Die organische Auflage weist pH-Werte < 3,5 bis < 3,0 auf und ist somit sehr stark bis extrem sauer (AG Boden 2005). Im mineralischen Oberboden liegen die Werte größtenteils auch bei 3,0 - 3,5, nehmen nach Nordosten ab (4,0 - 3,5), sind aber insgesamt als sehr stark sauer zu bezeichnen. Im Unterboden herrschen ebenfalls sehr stark saure Verhältnisse mit pH-Werten zwischen 4,0 und 3,5 vor.

Der Bau eines PSWuT am Standort Pöhla wird oberirdisch zwangsläufig mit umfangreichen Tiefbauarbeiten (Straße, Leitungen, Gebäude) und unter Tage mit umfangreichen bergbaulichen Tätigkeiten verknüpft sein. Dabei besteht ein oberirdisch wie unter Tage ein Risiko, dass anstehende bzw. abgelagerte Schwermetalle und Radionuklide remobilisiert werden.

Die zu erwartende Bodenbelastung unter anderem von der Qualität des Abraums abhängen, der aus dem Auffahren des Unter- und Oberbeckens entsteht. Hierzu liegen zum gegenwärtigen Planungsstand keine detaillierten Informationen vor. Die Errichtung von Ober- und Unterbecken ist derzeit zwar außerhalb der prognostischen Vorräte und der Bilanzvorräte an Blei und Zink vorgesehen, doch gilt Pöhla andererseits als "Komplexlagerstätte", aus der in der Vergangenheit bereits hochtoxische Stoffe gefördert wurden.

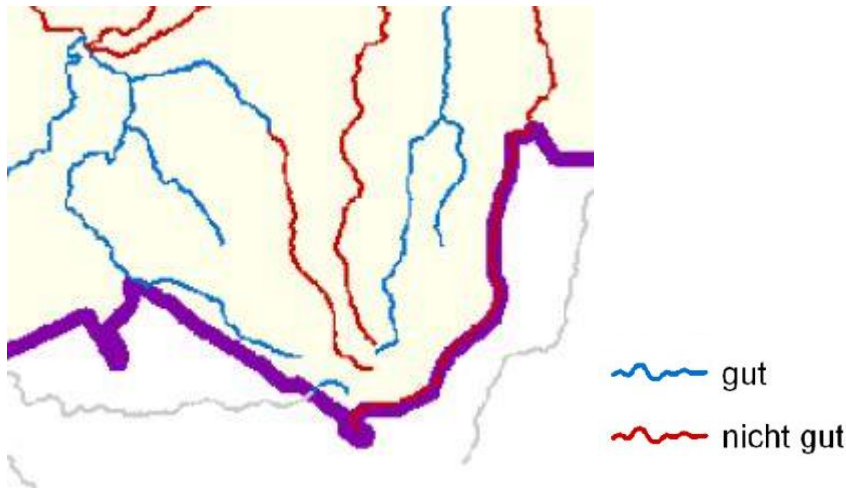
#### 4.3.5 Potenzielle Auswirkungen auf Oberflächengewässer

##### 4.3.5.1 Vorbelastung

Die Bewertungsmaßstäbe und Umweltqualitätsnormen der Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) wurden in Kap. 2.3.5.1 erläutert und dargestellt. Werden diese Normen unterschritten, wird der chemische Zustand des Oberflächengewässers als "gut" eingestuft, andernfalls als "nicht gut" (WRRLVO § 6).

Abbildung 36 zeigt die Einstufungen der chemischen Gewässergüte im Untersuchungsgebiet. Der chemische Gewässerzustand des Pöhlwassers wurde als "gut" befunden, der Oberlauf der Mittweida als "nicht gut". Tabelle 10 zeigt die Schadstoffbelastungen der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet. An den Messstellen (vgl. Abbildung 30) wurden Gewässerproben entnommen, die Daten der Fließgewässer

wurden aus Feststoffen bezogen. Alle Daten stammen vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie<sup>5</sup> aus dem Jahr 2009.



**Abbildung 36:** Chemischer Zustand der Oberflächenwasserkörper nach national geltendem Recht (EG-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG)

Die Qualitätsanforderungen sind angegeben in der Schwebstoffphase in mg/kg sowie in der Wasserphase in µg/l. Für aquatische Lebewesen beträgt beispielsweise die Qualitätsanforderung für Zink 14 µg/l und für Blei 3,4 µg/l.

**Tabelle 10:** Gewässerbelastungen mit Schwermetallen und Uran

Parameter		Lösung		Schwebstoff / Sediment		
		OBF 41711	OBF 41712	Große Mittweida	Klingerbach	Pöhlwasser
		[µg/l]		[mg/kg]		
Arsen	<b>As</b>	0,7 ... 1	< 0,5 ... 1,1	140 ... 170	82	150 ... 180
Blei	<b>Pb</b>	< 0,2 ... 0,2	< 0,2 ... 0,8	130 ... 610	200	110 ... 230
Cadmium	<b>Cd</b>	0,4 ... 0,8	0,1 ... 0,2	5,9 ... 14	15	17 ... 50
Chrom	<b>Cr</b>	< 1	< 1	45 ... 59	49	45 ... 55
Kupfer	<b>Cu</b>	< 2 ... 2,4	< 2 ... 3,3	130 ... 170	90	140 ... 180
Nickel	<b>Ni</b>	1 ... 4,4	< 0,5 ... 2,7	72 ... 80	80	62 ... 76
Quecksilber	<b>Pb</b>	-	-	0,44 ... 0,66	0,34	-
Zink	<b>Zn</b>	32 ... 50	3,4 ... 12	670 ... 890	630	890 ... 1100
Uran	<b>U</b>	< 0,2 ... 0,4	< 0,2	6,5 ... 7	8,1	24 ... 37

Der Vergleich der Gewässerbelastungen in Große Mittweida, Klingerbach und Pöhlwasser mit Schwermetallen und Uran (Tabelle 10) mit den weiter oben angegebenen Qualitätsanforderungen der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (Tabelle 2) zeigt für "Schwebstoffe und Sedimente" eine nahezu durchgehende erhebliche und kritische Überschreitung der Richtwerte für fast alle aufgeführten Schwermetalle. Lediglich die Chrom- und Nickel-Belastungen liegen innerhalb der Qualitätsanforderungen für "Schwebstoffe und Sedimente" (jeweils bezogen auf Trockensubstanz).

<sup>5</sup> <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/5340.htm>



Für Uran übernimmt das SLfUG (2008) eine Qualitätsvorgabe der LAWA, die den Besorgniswert für Oberflächengewässer (Wirkungspfad Oberflächengewässer – Aquatische Lebensgemeinschaft) bei 0,5 mg/kg Schwebstoff festlegt. Dieser Besorgniswert wird in den drei Fließgewässern Große Mittweida, Klingerbach und Pöhlwasser (vgl. Tabelle 10) durchgehend um das 13-74fache überschritten.

Die vorhandene erhebliche Vorbelastung der Gewässer hinsichtlich Schwermetallen und Radionukliden dürfte weitgehend in der bergbaulichen Vorgeschichte der Region begründet sein. Sie stellt eine hohe Hürde für weitere Zusatzbelastungen durch Gewässereinleitung dar und ist ein Indikator für erhebliche Schadstofffrachten, die bei einer Reaktivierung der Grube zu erwarten sein werden.

#### 4.3.5.2 Baubedingte Einleitungen in Oberflächengewässer

Zur Anlage eines PSW im ehemaligen Bergwerk ist es notwendig, einen wesentlichen Teil der ca. 1 Mill. m<sup>3</sup> u.a. mit Uran, Radium und Arsen kontaminiertes Flutungswasser abzupumpen, welches in den Jahren 1992 - 1995 in das Bergwerk geleitet wurde. Hierbei werden u.a. die im Eingangsteil genannten strengen gesetzlichen Grenzwerte einzuhalten sein.

Die Tabelle 11 zeigt einen Ausschnitt der von der Wismut-GmbH zur Verfügung gestellten Schadstoffinformationen. Dabei werden von uns diejenigen Werte rot hervorgehoben, die nicht die Zielvorgaben der LAWA (vgl. Tabelle 2) für das Schutzgut "Schwebstoffe und Sedimente" einhalten. Zur Einschätzung der Urankonzentrationen wird der Besorgniswert des SLfUG (2008) herangezogen, der für Schwebstoff im Wirkungspfad Oberflächengewässer – Aquatische Lebensgemeinschaft – bei 0,5 mg/kg liegt. Der Arsengehalt wird anhand der IKSE-Zielvorgaben bewertet (vgl. Tabelle 2). Gelb hervorgehoben sind Schadstoffkonzentrationen, die aufgrund sehr vager Angaben keinem der von uns als Maßstab gewählten Grenz- oder Richtwert zugeordnet werden können.

Hinsichtlich der Radiumgehalte legen wir hilfsweise den Maßstab des Bundesamtes für Strahlenschutz (Ettenhuber und Henze) an, nach dem Maßnahmen des Strahlenschutzes erforderlich sind, sobald die spezifische Aktivität der Rückstände einen Wert von 0,2 Bq/g (200 mBq/g) überschreitet. Bei mehr als 1 Bq/g (1000 mBq/g) werden generell standortspezifische Untersuchungen empfohlen (Ettenhuber und Henze).

Der Tabelle 11 zufolge ist das Flutungswasser erheblich und deutlich höher als alle anderen Proben belastet. Insbesondere die Werte für Radium und Arsen fallen ins Auge. Das Flutungswasser wird vor dem Einleiten in einen Vorfluter zu reinigen sein ([www.wismut.de/sanierung/](http://www.wismut.de/sanierung/)). Der dafür zu betreibende Aufwand kann noch nicht abgeschätzt werden, allerdings steht bereits heute fest, dass die notwendigen Reinigungs- und Dekontaminierungsmaßnahmen einen ganz außergewöhnlichen Aufwand bedeuten werden.

Ungeklärt ist noch, wohin die anfallenden radioaktiven Rückstände der Gewässerreinigung verbracht werden sollen bzw. verbracht werden dürfen. Es ist nicht zwangsläufig davon auszugehen, dass die in sehr viel umfangreicheren Ausmaß als bisher anfallenden radioaktive Rückstände ebenso im Bergwerk Pöhla verbracht werden dürfen,

wie dies durch die Wismut GmbH geschehen ist. Es wird zu prüfen sein, ob hier eine Abgabepflicht gem. Strahlenschutzverordnung besteht.

Für den Bau eines PSW würde möglicherweise geprüft werden, ob der Zeitraum des Abpumpens gegenüber dem des Flutens abgekürzt werden kann. Voraussichtlich werden in diesem Fall schadstoffhaltige Sedimente in den betroffenen Vorflutern erneut mobilisiert und weiter in den Unterlauf getragen. Auch beim Abpumpen aus dem Stollen werden voraussichtlich noch höher belastete Sedimente mit ausgespült werden.

Der Luchsbach nimmt derzeit die gereinigten Abwässer der Grube auf. Er fließt hinter dem Werksgelände Pöhla mit dem Pöhlwasser zusammen und schließlich in die Große Mittweida. Strukturgütedaten entsprechend der WWRL sind für den Luchsbach nicht verfügbar. Tabelle 11 zeigt die aktuellen Belastungen ausgewählter Schadstoffe u.a. des Luchsbachs im arithmetischen Mittel des Jahres 2011. Die Arsenbelastung des Luchsbachs steigt unterhalb des Betriebsgeländes deutlich an.

**Tabelle 11:** Gewässerbelastungen am Standort Pöhla (Kunzmann, 01.03.2011). (Ausschnitt, farbliche Hervorhebungen hinzugefügt)

Parameter	m-115	m-165	m-121	m-F413	m-222	m-168A
	arithmetisches Mittel	arithmetisches Mittel	arithmetisches Mittel	arithmetisches Mittel	arithmetisches Mittel	arithmetisches Mittel
As [µg/l]	<0,5	15,8	22,6	2160	27,7	41,2
Cd [µg/l]			1,26	<1	<1	<1
Cr [µg/l]			<5	<5	<5	<5
Cu [µg/l]	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ni [µg/l]	5	<5	7,5	<5	<5	<5
Pb [µg/l]	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zn [µg/l]	60	62	111	10,5		29
U [mg/l]	<0,001	0,0176	0,0862	0,019	0,014	0,009
Ra226 [mBq/l]	<10	<22	14	4070	<11	48
<b>m-115: Luchsbach vor Wismut</b> <b>m-165: Luchsbach nach Wismut</b> <b>m-121: Sickerwasser Luchsbachhalde + altes Bachbettwasser</b> <b>m-F413: Flutungswasser</b> <b>m-222: Ablauf Wetland</b> <b>m-168A: Ablauf Infiltrationswässer</b>						

Die Wismut hat eigenen Angaben zufolge trotz einer 20-jährigen Sanierungserfahrung am Standort kein abschließendes Entwässerungskonzept entwickelt ([www.wismut.de/sanierung/](http://www.wismut.de/sanierung/)). Nähere Details zu den Problempunkten waren im Gespräch mit der Wismut nicht zu ermitteln. Die Ausfällung von Uran wurde bis 2004 durch ein konventionelle Anlage verfolgt. Danach wurde eine biologische Anlage installiert, die jedoch offenbar aus Wirtschaftlichkeitsgründen wieder rückgebaut werden soll. Unserer Einschätzung nach dürfte das Auspumpen, Reinigen und Dekontaminieren des Flutungswassers eine sehr schwer zu bewältigende ökologische und wirtschaftliche Hürde darstellen. Der zu betreibende Aufwand wird unseres Erachtens die Wirtschaftlichkeit der PSW-Anlage erheblich in Frage stellen.

#### 4.3.5.3 Entnahme von Wasser für das Auffüllen der Speicherbecken

Die Befüllung der Becken ist z.T. über Wasserlösungsstollen, z.T. über Flutungswasser angedacht. Da das Flutungswasser erheblich mit Uran, Radium und Arsen kontaminiert ist, wird eine Reinigung vorzuschalten sein. Mögliche Auswirkungen auf den mengenmäßigen Bestand des Grundwassers können noch nicht abgeschätzt werden.

#### 4.3.5.4 Betriebsbedingte Einleitungen in Oberflächengewässer

Die Grube Pöhla wurde Ende 1991 geschlossen und geflutet, 1995 traten die Flutungswässer erstmals an der Oberfläche aus. Gewässerproben zeigten eine Belastung mit Uran, Radium, Arsen, Mangan und Eisen, sodass es vor Einleitung in den Vorfluter einer Behandlung (des Grubenwassers) bedurfte. Um diese Belastungen dauerhaft und kostengünstig von den natürlichen Fließgewässern fernzuhalten entschied man sich 1998 dazu, eine passive Wasserreinigungsanlage mit Constructed Wetlands in Pöhla zu installieren (Kießig et al. 2004). Für das derzeitige Einleiten des Stollenwassers in den Luchsbach sind wasserrechtliche Genehmigungen vorhanden (Kunzmann, 14.02.2011). Die derzeitige Anlage wird jedoch von der Wismut GmbH abgebaut werden. Um die im späteren Betrieb eines PSW anfallenden Mengen vor der Einleitung in den Luchsbach zu reinigen und die geforderten Umweltstandards einhalten zu können, wird eine neue Wasserbehandlungsanlage zu errichten sein.

Die Kapazitäten der Wasseraufbereitungsanlage (rd. 15 m<sup>3</sup>/h Flutungswasser) werden für die Wasserhaltung eines PSW bei weitem nicht ausreichen; hierfür wird eine Anlage von voraussichtlich bis zu 120 m<sup>3</sup>/h erforderlich sein (Kunzmann, 17.3.2011 telefonisch).

Bei der bestehenden Wasserbehandlungsanlage werden die Schadstoffe in mehreren Absatzbecken aus dem Wasser entfernt. In Becken 1A und 1B erfolgt die Abtrennung der Eisenhydroxidschlämme (hierfür müssen die Becken einmal im Jahr beräumt werden). In Becken 2A und 2B sorgen mit Helophyten bepflanzte Schwimmmatten und AQUA-mats® für die Schadstoffabtrennung. In Becken 3A, 3B, 4A und 4B wurden Algen zur Reduzierung der Radium- und Arsenkonzentration angepflanzt. Schließlich fließt das Wasser durch die Filter (F5A/B und F6A/B), welche mit reaktiven Materialien gefüllt sind (Ferosop zur Arsenabtrennung und anschließend Hedulat zur Radiumabtrennung). Abschließend gelangt das gereinigte Grubenwasser über einen Ablaufkanal in den Vorfluter (Kießig et al. 2004).

Wolkersdorfer und Younger (2002) stellten die Konzentrationen der Zu- und Ablaufwässer in Pöhla gegenüber (vgl. Tabelle 12). Dabei zeigt sich, dass die Konzentrationen nach dem Durchlaufen des Constructed Wetland um ein Vielfaches verringert sind, die Anlage an diesem Standort also sinnvoll eingesetzt ist.

Kunzmann (telefonisch 17.3.2011) zufolge arbeitet die vorhandene Reinigungsanlage nicht wirtschaftlich. Anhaltspunkte darüber, wie und mit welchem Aufwand eine wirtschaftlich und ökologisch angemessene Grubenwasserreinigungsanlage für die bei der Wasserhaltung im Betrieb eines PSWuT am Standort Pöhla zu erwartenden Schadstofffrachten zu errichten ist, übersteigen den Rahmen dieser überschlägigen Studie. Es wird dringend empfohlen, diesen, ggf. projektgefährdenden Punkt in einer

detaillierten Teilstudie einschließlich der erforderlichen Vor-Ort-Untersuchungen zu klären.

**Tabelle 12:** Ein- und Auslaufkonzentrationen der Wasserbehandlungsanlage am Standort Pöhla (aus Wolkersdorfer 2002)

mg/L	Einlaufkonzentration	Auslaufkonzentration
<b>As</b>	2,5	0,34
<b>Ra</b>	5	1,3
<b>Fe</b>	10	0,3
<b>Mn</b>	1	0,3

#### 4.3.6 Potenzielle Auswirkungen auf das Grundwasser

Grundsätzlich ist zu untersuchen, ob durch den Bau, und den Betrieb einer Anlage der chemische oder mengenmäßige Zustand des Grundwassers beeinträchtigt wird.

Das anstehende Festgestein ist im ungestörten Zustand praktisch wasserundurchlässig (Jarrah, IBB, 07.02.2011). Die lokalen Grundwasserleiter im Festgestein befinden sich in Klüften, Störungen und Gängen. Laut Pommer (2005) sind dies neben flach sitzenden Grundwässern in den schmalen Flussgebietsauen und Schuttdeckenwässern der Quellmulden die einzigen Grundwasservorräte im erzgebirgischen Grundgebirge. Infolge fehlender Barrieren bestehen intensive Wechselbeziehungen zwischen den Wässern der Bäche, denen der alluvialen Ablagerungen, Verwitterungsbildungen und den Kluft-Spalten-Wässern. Die Grundwasserzuflüsse werden im Wesentlichen aus den Kluft- und Spaltenwässern gespeist und nehmen mit der Tiefe ab (Jarrah, IBB).



**Abbildung 37:** Lage und Grenzen des Grundwasserkörpers ZM 1-3 (SLfUG 2009)

Werden die Grubengebäude leergesaugt und erweitert, so vergrößern sich auch die Zulaufmengen, was mit einer Drainagewirkung für das oberflächennahe Grundwasser verknüpft sein kann. Im hydraulisch verbundenen Grubengebäude der Lagerstätten Hämmerlein und Tellerhäuser lag der Zulauf aus Infiltrationswässern und aus statischen Wasservorräten in Karsthohlräumen zu Bergbauzeiten bei bis zu 120 m³/h, nach Beendigung der Bergbautätigkeit ging der Zulauf auf 70 - 80 m³/h zurück (Jarrah, IBB, 07.02.2011).

Grundsätzlich nimmt mit steigender Teufe die Mineralisation zu, am Modellbergwerk Pöhla sind die zuzitenden Wässer gering mineralisiert. Es überwiegen  $\text{HCl}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Ca,

Na, und Mg (Jarrah), die vorherrschenden Spurenelemente sind Mn, Fe, Zn, Cu, As und an der Lagerstätte Tellerhäuser auch U und Ra (Jarrah, IBB, 07.02.2011).

Nach § 47 WHG Abs. 1 ist das Grundwasser so zu bewirtschaften, dass ein guter mengenmäßiger und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden, wozu insbesondere ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahmen und Grundwasserneubildung gehört. Es wird in weiteren Untersuchungen zu prüfen sein, inwieweit diese Ziele durch den Bau und Betrieb eines PSW beeinträchtigt werden.

Die Einstufungen des mengenmäßigen und die Kriterien zur Beurteilung des chemischen Zustandes sind in der Grundwasserschutzverordnung (GrwV vom 09.11.2010) §§ 4 und 5 festgehalten. Anlage 2 setzt die Schwellenwerte für stoffliche Belastungen fest. In Anlage II des Berichtes über die sächsischen Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder (SLfUG 2009) werden die Schwellenwerte vor dem Hintergrund der jeweiligen geogenen Belastungen je Grundwasserkörper festgelegt (vgl. Tabelle 13).

**Tabelle 13:** Schwellenwerte der Grundwasserbelastungen nach GrwV Anlage 2 und WRRL Anlage II

<b>Substanz</b>	<b>Einheit</b>	<b>Schwellenwert</b>	
		<b>GrwV</b>	<b>WRRL GWK ZM 1-3</b>
As	µg/L	10	10
Cd	µg/L	0,5	0,7
Pb	µg/L	10	0,7
Hg	µg/L	0,2	0,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0,5	0,5
Cl <sup>-</sup>	mg/L	250	250
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	240	240

#### 4.3.7 Potenzielle Auswirkungen auf Klima und Luft

Durch die Realisierung des Pumpspeicherwerks unter Tage entstehen in Anlage und Betrieb nach heutigem Wissen keine Beeinträchtigungen für das Schutzgut Klima.

Für das Schutzgut Luft können erhebliche Umweltauswirkungen aus der Ansammlung von Radongasen und weitere Beeinträchtigungen aus Radionuklid- Arsen- und sonstigen Schwermetallstäuben entstehen, deren Ursprung sowohl Altlasten der Vornutzung als auch verwitternde Grubenwände sein können.

#### 4.3.8 Potenzielle Auswirkungen auf die Landschaft

Bau und Betrieb des PSWuT bedürfen sowohl ober- als auch unterirdischer Konstruktionen (vgl. Kap. 3.1).

Durch die unterirdischen Bauten entstehen zwar direkt keine Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes. Allerdings könnten Erholungsnutzung und Landschaftsbild indirekt über lange Zeit beeinträchtigt werden, wenn der Abraum mittels Schwerlasttransportern zu einer entfernten Halde weggeschafft werden muss.

Durch die oberirdischen Gebäude wird das Landschaftsbild nicht in Mitleidenschaft gezogen, sofern diese Anlagen auf dem bereits genutzten Werksgelände (vgl. Abbildung 25) errichtet werden.

Die notwendige Stromabführung sollte unter Landschaftsbildaspekten vorzugsweise über ein Erdkabel und nicht über eine Freileitung vom Anschlusspunkt Stollen 7 (vgl. Abbildung 27) in Richtung PSW Makersbach verlaufen. Das Ausmaß der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes wird als gering eingestuft, sofern ein Erdkabel gewählt wird. Eine Freileitung ist ggf. in der bereits existierenden Schneise einer rückgebauten kV-Leitung (Kunzmann, 14.02.2011) möglich, aber aus Gründen des Landschaftsbildschutzes unter dem Gesichtspunkt der Erholungsnutzung nicht opportun.

#### **4.3.9 Potenzielle Auswirkungen auf Kultur- und sonstige Sachgüter**

In den Regionalplänen Südwestsachsen und Chemnitz-Erzgebirge sind keine Kulturdenkmale in der Umgebung der Stollen verzeichnet, so dass keine Einschränkung des Standortes aufgrund von Kulturdenkmälern gegeben ist.

## **5 Zusammenfassende Ersteinschätzung**

### **5.1.1 Flächenbezogene Restriktionen**

Bei der Errichtung einer untertägigen PSW-Anlage kommen dann flächenbezogene Restriktionen zum Tragen, wenn das PSW in einem Schutzgebiet des Naturschutzrechts, des Rechts der Wasserwirtschaft, des Forstrechts, des Bodenschutzrechts und des Raumordnungsrechts geplant ist. Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob solche Gebiete die Errichtung eines untertägigen PSW von vornherein oder die jeweilige Schutzgebietsverordnung eine Nutzung erlaubt.

Bei dem Modellprojekt in Bad Grund kann es durch die Stromleitung zu einer Beanspruchung des LSG Harz kommen. Im Falle einer landschaftsbildschonenden Konstruktion (ggf. Erdkabel) widerspricht dies möglicherweise jedoch nicht den Schutzziele der LSG-Verordnung, so dass sich nicht zwangsläufig Restriktionen gegenüber dem Bau und Betrieb der PSW-Anlage ergeben.

Eine unzulässige Beanspruchung des europäischen Vogelschutzgebietes am Standort Pöhla dürfte sich mit großer Sicherheit im Falle einer Freileitungsrealisierung ergeben. Wahrscheinlich werden aber auch darüber hinaus eine Reihe von weiteren Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Wasserschutzgebiete werden im Falle einer Flächenbeanspruchung durch ein PSWuT unserer Ansicht nach eine Unzulässigkeit des jeweiligen Vorhabens begründen. Es ist daher in der weiteren Planung höchste Sorgfalt darauf zu verwenden, diese Gebiete nicht zu beeinträchtigen. Der Schutz vor erheblichen Beeinträchtigungen, insbesondere vor nicht oder nur schwer abbaubaren chemischen und radioaktiven Verunreinigungen ist nicht gewährleistet, wenn Schadstoffe auf dem Wege der erforderlichen Wasserhaltung mobilisiert werden und in die geschützten Gebiete gelangen können. Steht das Grundwasser der Schutzgebiete mit dem Grubengehäuse eines PSWuT in Wechselwirkung, kommen mögliche Gefährdungen durch Drainage der Wassereinzugsgebiete hinzu.



## **5.1.2 Schutzgutbezogene Restriktionen**

### **Schutzgut Mensch**

In Bezug auf den Menschen können das Abpumpen des Wassers im Bergwerk und der Einbau der Speicherbecken zur Instabilität des Untergrunds und damit zu unfallträchtigen Bergschäden führen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass Trinkwasserschutzgebiete durch das Leerpumpen des Bergwerks in der Bauphase und anschließend durch die Wiederaufnahme der Wasserhaltung nicht geschädigt werden. Die unterschiedlichen Freisetzungspfade für toxische und radionuklide Stoffe sind im Blick zu behalten.

Die erneute Öffnung des ehemaligen Uranbergwerks zum Bau und Betrieb eines untertägigen PSW am Standort Pöhla ist vor dem skizzierten Hintergrund mit äußerster Skepsis zu betrachten. Gesundheitliche Beeinträchtigungen können sich für Betriebsmitarbeiter, umgebende Einrichtungen (Besucherbergwerk) und selbst für weit entfernte Siedlungen (Grundwassereinzugsgebiet) ergeben.

Gesundheitsrisiken entstehen sowohl aus der Mobilisierung von extrem toxischen Schwermetallen und Radionukliden (u.a. Uran, Radium, Radon, Arsen) in Boden und Wasserläufen, als auch aus der Freisetzung von radioaktiven und stark toxischen Gasen und Stäuben in der derzeit zu Sanierungszwecken gefluteten, anschließend aber leer zu pumpenden und damit erneut der Verwitterung ausgesetzten Grube.

### **Schutzgut Tiere und Pflanzen**

Im Hinblick auf Tiere sind vor allem Fledermäuse bedeutsam, wenn sie in den stillgelegten Stollen ihr Winterquartier bezogen haben. Daher muss bei der Planung eines untertägigen PSW sorgfältig erkundet werden, wo sich die Tiere aufhalten und ob im Rahmen einer artenschutzrechtlichen Prüfung geeignete Vermeidungsmaßnahmen möglich sind.

Grundsätzlich wäre denkbar, in ungenutzten Grubenräumen Ersatzquartiere zu schaffen.

### **Schutzgut Boden**

Für die Anlage eines PSWuT müssen verschiedene bodenbeeinflussende Arbeiten durchgeführt werden. Unterirdisch werden Schächte und Stollen ausgebaut. Große Boden- und Gesteinsmengen müssen gelagert und/oder abtransportiert werden. Dabei können Schadstoffe mobilisiert werden.

Oberirdisch ist der Bau eines PSWuT zwangsläufig mit umfangreichen Tiefbauarbeiten (Straße, Leitungen, Gebäude) verknüpft. Dabei besteht ein hohes Risiko, anstehende bzw. abgelagerte Schwermetalle und Radionuklide zu remobilisieren, denn der Oberboden in der Nähe von Bergwerksstandorten ist oftmals hoch belastet.

### **Schutzgut Grundwasser**

Im Zuge der Wasserhaltung eines untertägigen PSW kann der Grundwasserspiegel beeinflusst werden. Wenn durchlässige Gesteinsschichten vorliegen und das bodenverfügbare Wasser abnimmt, kann es zu Vegetationsschäden kommen.

In einer Planungsvariante für ein PSWuT am Standort Pöhla sollen Ober- und Unterbecken Bereiche der Schutzzonen II und III des Wasserschutzgebiets "Kleine Mittweida" in Anspruch nehmen. Bodenaufschlüsse, bergbauliche Arbeiten, Einsatz schwerer Technik etc. sind in diesem Wasserschutzgebiet jedoch verboten. Die Chancen, dass die zuständige Wasserbehörde für ein Pumpspeicherwerk unter Tage eine



Ausnahmegenehmigung erteilt, werden von uns als gering angesehen, da mit schwerer Technik in diesem vielfach als Altlast anzusprechenden Gebiet zwangsläufig auch Schadstoffmobilisierungen einhergehen.

### **Schutzgut Oberflächengewässer**

Der ökologische und chemische Zustand von Oberflächengewässern kann insbesondere durch das Einleiten des Flutungswassers in der Bauphase sowie durch die ständige Wasserhaltung in der Betriebsphase eines PSWuT erheblich gefährdet werden. Das Einleiten von Flutungswasser ist vor allem dann kritisch zu beurteilen, wenn es sich um saure Grubenwässer handelt, die hohe Schwermetall- und ggf. Radionuklidkonzentrationen aufweisen können. Aber auch allein die erhöhte Wasserströmung durch Einleiten von Flutungswasser kann schadstoffhaltige Sedimente im Gewässer remobilisieren und weiter in den Unterlauf tragen.

Da im Betrieb des PSW eine ständige Wasserhaltung erforderlich ist und sich der Zustrom von Wasser in den Vorfluter gegenüber der Stilllegungsphase deutlich erhöht, sind die o.g. Remobilisierungen abgelagerter Schadstoffe auch im Betriebszustand möglich. In der Regel dürften die geltenden Gewässerqualitätsnormen nicht auf Anhieb werden, so dass das in Bau- und Betriebsphase abzuleitende Grubenwasser vor Einleitung gereinigt werden muss. Um die Genehmigungsfähigkeit eines geplanten PSW zu prüfen, wird empfohlen, sehr frühzeitig Wasserproben aus den tieferen Stollen des Bergwerks zu analysieren, um auf dieser Grundlage belastbare Aussagen zur späteren Wasserhaltung und der damit erforderlichen Grubenwasserreinigung abzuleiten.

Nähere Informationen darüber, wie und mit welchem Aufwand eine wirtschaftlich und ökologisch angemessene Grubenwasserreinigungsanlage für die bei der Wasserhaltung im Betrieb eines PSWuT in Pöhla und Bad Grund zu erwartenden Schadstofffrachten zu errichten ist, waren im Rahmen dieser überschlägigen Studie nicht zu ermitteln. Allein die zu bewältigende Menge von ca. 1 Mill m<sup>3</sup> durch u.a. Arsen und Radionuklide belastetes Flutungswasser in Pöhla lässt jedoch vermuten, dass die für eine Gewässerreinigung zu veranschlagenden Kosten die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens leicht aushebeln können. Hierbei sollte dzu denken geben, dass die Wismut hat eigenen Angaben zufolge auch nach 20-jähriger Sanierung kein abschließendes Entwässerungskonzept entwickelt hat ([www.wismut.de](http://www.wismut.de)).

### **Schutzgut Landschaftsbild**

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass untertägige Pumpspeicherkraftwerke landschaftlich verträglicher sind als oberirdische Kraftwerke und daher v.a. auch im Hinblick auf das Landschaftsbild eine geeignete Alternative darstellen. Mögliche Landschaftsbildbeeinträchtigungen der geplanten Vorhaben sind auf dem derzeitigen Planungsstand, auf dem die obertägigen Bauten nur sehr vage konkretisiert sind, aber sehr schwer zu beurteilen.

Freileitungen sind unter Landschaftsbildgesichtspunkten vielfach ein Stein des Anstoßes. Daher kann es sinnvoll sein, die Stromzuführung mittels eines Erdkabels und nicht mittels einer Freileitungstrasse zu realisieren (was andererseits eine Mobilisierung von Bodenschadstoffen zur Folge haben kann).

## Schutzgut Klima/ Luft

Durch die Realisierung des Pumpspeicherwerks unter Tage entstehen in Anlage und Betrieb nach heutigem Wissen keine Beeinträchtigungen für das Schutzgut Klima.

Für das Schutzgut Luft können erhebliche Umweltauswirkungen aus der Ansammlung von Radongasen und weitere Beeinträchtigungen aus Radionuklid- Arsen- und sonstigen Schwermetallstäuben entstehen, deren Ursprung sowohl grubenseiteige Altlasten der Vornutzung als auch verwitternde Grubenwände sein können.

## Schutzgut Kultur- und Sachgüter

In Bezug auf Kultur- und Sachgüter sollten sich unserer Ansicht in der Regel nach keine gravierenden Konflikte durch untertägige PSW ergeben. Dadurch, dass bspw. in Bad Grund die erforderlichen oberirdischen Anlagen und Gebäude auf dem ehemaligen Werksgelände errichtet und zum Teil in vorhandenen Gebäuden nachgenutzt werden können, entfallen mögliche Konflikte, die mit der Inanspruchnahme unbebauter Flächen verknüpft sein könnten.

### 5.1.3 Empfehlungen

Die hier vorgenommenen Umweltfolgenabschätzungen sind weitgehend überschlägig auf einem sehr vorläufigen Kenntnisstand der Modellstandorte vorgenommen worden. Sie sind daher noch verschiedentlich mit Unsicherheiten behaftet. Vertiefende ökologische Vor-Ort-Untersuchungen sind im weiteren Planungsverlauf daher dringend angeraten.

Bergwerksstandorte sind vielfach Altlastenstandorte. Dabei beschränken sich die Hinterlassenschaften der ehemaligen Fördertätigkeit nicht nur auf die Abraumhalden, sondern finden sich vielerorts im Boden und v.a. auch in den Gewässersedimenten. Der Bau und der Betrieb eines PSWuT kann abgelagerte Schadstoffe remobilisieren. Wir empfehlen, die potenzielle Mobilisierung von Schadstoffen zu einem zusätzlichen Auswahlkriterium bei der Standortsuche für PSWuT zu machen.

Als ein zentraler Punkt großer Unsicherheit sind die bau- und betriebsbedingten Auswirkungen auf den Wasserhaushalt vorrangig zu prüfen. Ein PSWuT greift u.a. durch das Abpumpen des Flutungswassers in der Bauphase, durch die betriebliche Entnahme von Wasser und durch die ständige Wasserhaltung in der Betriebsphase in den Wasserhaushalt ein. Die europarechtlich vorgeschriebenen Umweltqualitätsanforderungen an die Aufrechterhaltung bzw. Herstellung eines chemisch ökologisch und mengenmäßig guten Gewässerzustandes kann sich dabei als eine sehr hohe Genehmigungshürde erweisen.

Beim Modellprojekt **Bad Grund** könnten nach erster Einschätzung der Umweltbedingungen akzeptable Voraussetzungen für ein untertägiges PSW vorliegen - soweit Wasserschutzgebiete nicht in Anspruch genommen werden und das Flutungswasser nicht übermäßig belastet ist bzw. mit vertretbarem Aufwand gereinigt werden kann. Für den Standort Bad Grund sollte sobald wie möglich eine toxikologische Untersuchung des Flutungswassers vorgenommen und die Notwendigkeiten und Kosten der Gewässerreinigung geklärt werden.

Für den **Uranbergwerksstandort Pöhla** mag eine Nachnutzung zwar grundsätzlich eine wünschenswerte Perspektive sein, jedoch haben sich aus unseren Recherchen heraus erhebliche Bedenken gegen eine so umfassende Wiederinbetriebnahme dieses erheblich

kontaminierten Altlastenstandortes durch ein PSWuT ergeben. Mit der Reaktivierung des Bergwerkes und mit dem Bau und Betrieb des geplanten Vorhabens würde an vielen unterschiedlichen Punkten eine Mobilisierung toxischer und radionuklider Substanzen sowohl auf dem Boden-, dem Wasser-, als auch auf dem Luftpfad einhergehen. Allein die Reinigung und Dekontamination von 1 Mill. m<sup>3</sup> erheblich durch Radionuklide und Arsen belasteten Flutungswassers dürfte eine schwer zu bewältigende Hürde darstellen. Darüberhinaus ist sehr fraglich, ob die Inanspruchnahme eines EU-Vogelschutzgebietes und eines Trinkwasserschutzgebietes genehmigungsfähig wäre. Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen schätzen wir als höchst aufwendig ein. Wir raten daher davon ab, diesen Standort weiter zu verfolgen.

Die folgenden Tabellen fassen die Ergebnisse der Ersteinschätzung allgemein, sowie an den Modellbergwerken Bad Grund und Pöhla zusammen.

**Tabelle 14:** Ersteinschätzung zu flächenbezogenen Restriktionen an Standorten für Pumpspeicherkraftwerke unter Tage (inkl. Modellstandorte)

Kriterien Schutzflächen	PSW allg.	Bad Grund	Pöhl
<b>Naturschutz:</b>			
Naturschutzgebiete (§ 23 BNatSchG)	X	0	+
Nationalparke, Kernzone (§ 24 BNatSchG)	X	0	0
Nationalparke, außerhalb Kernzone (§ 24 BNatSchG)	--	0	0
Nationales Naturmonument (§ 24 BNatSchG)	X	0	0
Biosphärenreservate, Kernzonen (§ 25 BNatSchG)	X	0	0
Biosphärenreservate, Pflegezone (§ 25 BNatSchG)	--	0	0
Biosphärenreservate, Entwicklungszone (§ 25 BNatSchG)	-	0	0
Landschaftsschutzgebiete (§ 26 BNatSchG)	-	+	0
Naturparke, NSG-Bereiche (§ 27 BNatSchG)	X	0	0
Naturparke, LSG-Bereiche (§ 27 BNatSchG)	--	0	+
Naturdenkmale, gesch. Bestandt. (§28,29 BNatSchG)	X	+	0
gesetzlich geschützte Biotope (§ 30 BNatSchG)	--	+	0
FFH-Gebiete (§ 32 BNatSchG)	X	+	0
Europäische Vogelschutzgebiete (§ 32 BNatSchG)	X	0	+
Kern- und Verbindungsfläche des Biotopverbundes, hoher Schutzstatus wie NSG (§ 22 BNatSchG)	X	0	0
Flächen des Biotopverbundes, Verbindungsfläche, geringer Schutzstatus (§ 3 BNatSchG)	-	+	+
<b>Wasserwirtschaft</b>			
Wasserschutzgebiete (§51 WHG), Zone I hohes Schutzniveau	X	+	+
Wasserschutzgebiete (§51 WHG), Zonen II und III geringeres Schutzniveau	X	+	+
<b>Forstwirtschaft</b>			
Schutzwald (§ 12 BWaldG)	--	0	0
Erholungswald (§ 13 BWaldG)	-	0	0
<b>Bodenschutz</b>			
Bodenschutzgebiete (§ 21 BBodSchG)	X	0	+
Verdachtsflächen, Altlasten, altlastenverdächtige Flächen	X	+	+
<b>Regionalplanung</b>			
Vorranggebiete für Freiraumschutz bzw. Landschaftsbild	--	+	0
Vorbehaltsgebiete für Freiraumschutz bzw. Landschaftsbild	-	0	+
Vorranggebiete für Forstwirtschaft	--	0	+
Vorrangstandort für übertägige bergbauliche Anlagen	--	+	+
Vorranggebiete f. Natur/Landschaft u. Arten-/Biotopschutz	--	0	0
Vorbehaltsgebiete f. Natur/Landschaft u. Arten-/Biotopschutz	-	0	0

**Legende:** X = sehr hohes Konfliktpotenzial, -- = hohes Konfliktpotenzial - = Konfliktpotenzial  
+ = relevant und näher zu prüfen, 0 = nicht relevant.

**Tabelle 15:** Ersteinschätzung zu schutzgutbezogenen Restriktionen an Standorten für Pumpspeicherkraftwerke unter Tage (inkl. Modellstandorte)  
(1. Stelle allgemein, 2. Stelle Standort Bad Grund, 3. Stelle Standort Pöhl)

		Auswirkungen auf die Schutzgüter								
		Mensch	Tiere	Pflanzen	Boden	Grundwasser	Oberflächenwasser	Klima, Luft	Landschaftsbild	Kultur-, Sachgüter
Bau	Wirkfaktoren									
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baubetrieb (Baufahrzeuge, Bauverkehr)</li> <li>- Bauflächen, Zufahrtswege</li> <li>- Zwischenlager, Deponien</li> <li>- Leerpumpen des Bergwerks</li> <li>- Auffüllen des Speicherwassers</li> </ul>	Überbauung / Versiegelung		- -/0/+	- -/0/+	- -/+0	0/0/			- -/++	- -/+0
	Direkte Veränderung von Vegetations- / Biotopstrukturen		X/++	- -/++		0/0/			- -/0/+	
	Barriere- und Fallenwirkung		X/++			0/0/			0/0/+	
	Schall und Erschütterungen	- - /0/+	- -/0/+			0/0 /			0/0/+	0/0/+
	Veränderungen des Wasserhaushalts	X/++	0/0/+	0/0/+	- -/0/+	0/0/+	- -/++	0/0/+		
	Schwerlasttransporte	- -/0/+	0/0/+		- -/0/+	0/0/+	- -/++	0/0/+	0/0/+	
	Emission/Mobilisierung hochtoxischer Stoffe	X/++	0/0/+	0/0/+	- -/0/+	0/0/+	- -/++	0/0/+		
	Emission/Mobilisierung schwachtoxischer Stoffe	X/++	0/++		0/0/+	0/0/+	- -/0/+	0/0/+		
		X/0/+	0/0/+		- -/0/+	- -/0/+	- -/0/+	0/0/+		
Anlage und Betrieb										
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Speicherbecken, Kraftwerk</li> <li>- Halde</li> <li>- Gebäude</li> <li>- Strasse</li> <li>- Stromtrasse</li> <li>- Wasserhaltung</li> </ul>	Überbauung / Versiegelung		X/++	- -/++	- -/++	0/0/			- -/0/+	- -/+0
	Barriere- und Fallenwirkung		X/++			0/0/			0/0/+	
	Veränderungen des Wasserhaushalts	X/0/+	0/0/+	0/0/+	- -/0/+	0/0/+	- -/++	0/0/+		
	Emission/Mobilisierung hochtoxischer Stoffe	X/++	0/0/+	0/0/+	- -/0/+	0/0/+	- -/++	0/0/+		
	Emission/Mobilisierung schwachtoxischer Stoffe	X/++	0/0/+		- -/0/+	0/0/	- -/0/+	0/0/+		
	Emission/Mobilisierung Radionuklide	X/0/+	0/0/+		- -/0/+	- -/0/+	- -/0/+	0/0/+		
Störfall/ Havarie										
	Bergschäden	X/0/0		- -/+0	- -/++	0/0/			- -/+0	- -/++
	Wasseraustritt	- -/++			0/0/+	- -/++	- -/++		- -/0/0	- /+ +

**Legende:** X = sehr hohes Konfliktpotenzial, - - = hohes Konfliktpotenzial - = Konfliktpotenzial  
+ = relevant und näher zu prüfen. 0 = nicht relevant.

## 6 Literatur

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover
- ALBRECHT, K. (2008): Fledermäuse. Lebensweise, Arten und Schutz. Stand: 3., veränd. Aufl. Unter Mitarbeit von Matthias Hammer. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (UmweltBasis)
- ARNOLD, H. (2003): Rezension zu Feldwisch et al., Gebietsbezogener Bodenschutz, 2003. In: Staatsanzeiger für das Land Hessen, Hess. Ministerium des Inneren und für Sport, Nummer: 25/03, Wiesbaden
- BAD GRUND (1994): Begründung zum Bebauungsplan Nr. 14 „Wiemansbucht“ der Bergstadt Bad Grund (Harz)
- BAD GRUND (1995): Begründung zum Bebauungsplan Nr. 13 „Hilfe Gottes“, 2. Änderung Bergstadt Bad Grund (Harz)
- BAUER, H.-D., STOYKE, G. (2005): Die Arsenproblematik in Betrieben der ehemaligen SAG/SDAG Wismut. Kompass 5/6 2005. S. 6-12.
- BARTHEL, C. (1992): Das Erzbergwerk Grund. Die Betriebsgeschichte des Werkes und seiner Vorläufergruben Hilfe Gottes und Bergwerkswohlfahrt von den Anfängen im 16. Jahrhundert bis zur Einstellung 1992. Im Auftrag der Preussag AG Metall, Goslar
- BECKER, J. (2003): Konstruierte Feuchtgebiete zur passiven Reinigung von Grubenwasser. TU Bergakademie Freiberg, Oberseminarreihe 2002/2003
- BERGAMT GOSLAR (1983): Vermerk. Einleitung von Grubenwasser durch den Ernst-August-Stollen und den anschließenden Graben in die Markau. Gewässerunreinigung vom 17.8.1983
- BfN – BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2009): Bundesumweltminister Gabriel und Landesminister Backhaus wollen Insel Vilm zum ersten Nationalen Naturmonument ernennen. Online im Internet: [http://www.bfn.de/0401\\_pm.html?&cHash=2d9ce79239&tx\\_ttnews\[backPid\]=1&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=1431](http://www.bfn.de/0401_pm.html?&cHash=2d9ce79239&tx_ttnews[backPid]=1&tx_ttnews[tt_news]=1431) (Zugriff 3.08.2009)
- EIKMANN, T. & KLOKE, A. (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden - Eikmann-Kloke-Werte - In: Rosenkranz, D., Einsele, G. & Harreß, H.M. (Hrsg.) Handbuch Bodenschutz, 3590, Schmidt-Verlag, Berlin
- ETTENHUBER, E. & HENZE, G. – Bundesamt für Strahlenschutz (ohne Jahr): Strahlenschutz bei radioaktiven Kontaminationen der Umwelt durch Bergbau und Industrie in Deutschland: [www.bfs.de/de/ion/anthropg/altlasten/fachinfo/strlsch\\_bb\\_ind.pdf](http://www.bfs.de/de/ion/anthropg/altlasten/fachinfo/strlsch_bb_ind.pdf)
- GASSNER, E., BENDOMIR-KAHLO, G., SCHMIDT-RÄNTSCH, A., SCHMIDT-RÄNTSCH, J. (2003): Bundesnaturschutzgesetz Kommentar 2. Auflage. Verlag C.H. Beck, München.
- GASSNER, E.; WINKELBRANDT, A. (2005): UVP. Rechtliche und fachliche Anleitung für die Umweltverträglichkeitsprüfung. Verlag Müller, Jehle Rehm

- GEWÄSSERKUNDLICHER LANDESDIENST; Beratungspflicht und Beteiligungserfordernis nach § 52 Abs. 3 NWG, RdErl. d. MU v. 13.10.2009
- GRÜNE LIGA (2009): Informationen zur EG-Wasserrahmenrichtlinie. Online in Internet: <http://www.wrrl-info.de/site.php4?content=grundwasser> (Zugriff 8.1.2010)
- HAUER, S.; ANSORGE, H. und ZÖPHEL, U. (2009): Atlas der Säugetiere Sachsens; (Hrsg.) Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
- HILLER, A. SCHUPPAN, W. (2008): Geologie und Uranbergbau im Revier Schlema-Alberoda. Hrsgb. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), 2008. ISBN 3-9811421-0-1
- HURST, S.; BÖRKEL, P.; ABO-RADY, M.; ENGELMANN, U. und FELIX, M. (2005): Erfordernis der (Weiter-) Entwicklung passiver Wasserbehandlungsmethoden vor dem Hintergrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. In: Wissenschaftliche Mitteilungen – Institut für Geologie 28, TU Bergakademie Freiberg
- KATALYSE Umweltforschung (2011) : Uran. <http://www.umweltlexikon-online.de/RUBwerkstoffmaterials substanz/Uran.php>
- KIEßIG, G. et al. (2004): Kostengünstige passive Nachsorgelösung mit einem Constructed Wetland auf der Grundlage von Prognosen der Entwicklung des Flutungswassers der Grube Pöhla.
- KNOLLE, F. (2009): Bergbauinduzierte Schwermetallkontaminationen und Bodenplanungen in der Harzregion. Online in Internet: <http://www.geoberg.de/text/mining/09022401.php> (Zugriff 05.01.2010)
- KOORDINATIONSSTELLE FÜR FLEDERMAUSSCHUTZ IN THÜRINGEN (2009): Fledermausschutz in Thüringen. Online in Internet: <http://www.fmthuer.de/>
- LAMBRECHT, H.; TRAUTNER, J.; KAULE, G.; GASSNER, E. (2004): Ermittlung von erheblichen Beeinträchtigungen im Rahmen der FFH-Verträglichkeitsuntersuchung. – FuE-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz - FKZ 801 82 130 [unter Mitarb. von M. RAHDE u. a.]. – Endbericht: 316 S. – Hannover, Filderstadt, Stuttgart, Bonn, April 2004
- LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (o.J.): Bodenqualitätsziele Niedersachsen: Teil 2 Schwermetalle, organische Belastung und Säurebildner, GeoBerichte 7
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW (2010): Altlasten in NRW. Online in Internet: <http://www.lanuv.nrw.de/altlast/alt nrw.htm> (Zugriff 05.01.2010)
- LANDKREIS OSTERODE AM HARZ, GEOPORTAL, Online in Internet: <http://geoportal.landkreis-osterode.de>, (Zugriff 23.12.2009)
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1997): Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer, Band I: Teil I: Konzeption zur Ableitung von Zielvorgaben zum



Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen, Teil II: Erprobung der Zielvorgaben von 28 gefährlichen Wasserinhaltsstoffen in Fließgewässern. Berlin

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1998a): Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer, Band II: Ableitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink. Berlin

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1998b): Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer, Band III: Teil I: Konzeption zur Ableitung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen, Teil II: Erprobung der Zielvorgaben für Wirkstoffe in Bioziden und Pflanzenbehandlungsmitteln für trinkwasserrelevante oberirdische Binnengewässer. Berlin

LFU - BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2009): Artenhilfsprogramm Fledermaus. Online in Internet: [http://www.lfu.bayern.de/natur/fachinformationen/artenhilfsprogramm\\_fledermaus/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/natur/fachinformationen/artenhilfsprogramm_fledermaus/index.htm) (Stand 2009)

NABU 2010: [http://www.nabuSachsen.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=81&Itemid=55](http://www.nabuSachsen.de/index.php?option=com_content&view=article&id=81&Itemid=55)

NIEDERSÄCHSISCHES WASSERUNTERSUCHUNGSAMT (1981): Erzbergwerk Grund der Preussag AG; Abwasseruntersuchungen zur Anpassung der Erlaubnis vom 08.06.1960.

NLWKN – NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KÜSTENSCHUTZ - BETRIEBSSTELLE SÜD (Hrsg.) (2003): Gewässergütebericht 2003 für das Flusseinzugsgebiet der Rhume, Braunschweig

NLWKN – NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KÜSTENSCHUTZ - BETRIEBSSTELLE LÜNEBURG (Hrsg.) (2008): Leitfaden Maßnahmenplanung Oberflächengewässer Teil A Fließgewässer- Hydromorphologie. Empfehlungen zu Auswahl, Prioritätensetzung und Umsetzung von Maßnahmen zur Entwicklung niedersächsischer Fließgewässer

NLWKN – NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KÜSTENSCHUTZ - BETRIEBSSTELLE LÜNEBURG (Hrsg.) (2009a): Niedersächsischer Beitrag für den Bewirtschaftungsplan der Flussgebietsgemeinschaft Weser nach Art. 13 der EG-Wasserrahmenrichtlinie bzw. nach § 184a des Niedersächsischen Wassergesetzes

NLWKN – NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KÜSTENSCHUTZ - BETRIEBSSTELLE LÜNEBURG (Hrsg.) (2009b): Niedersächsischer Beitrag für das Maßnahmenprogramm der Flussgebietsgemeinschaft Weser nach Art. 11 der EG-Wasserrahmenrichtlinie bzw. nach § 181 des Niedersächsischen Wassergesetzes

PETERSEN, B., ELLWANGER, G., BLESS, R., BOYE, P., SCHRÖDER, E. & SSYMANK, A. (Bearb.) (2004): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. Ökologie und Verbreitung

- von Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. Band 2: Wirbeltiere. - Schr.R. f. Landschaftspfl. u. Natursch. 69/2
- POMMER, C. (2005): Region Erzgebirge – SWOT-Analyse für den Bereich UMWELT, Schlettau
- RACKOW, W. (2008): Im Landkreis Osterode am Harz nachgewiesene Fledermausarten. NABU Osterode e.V., Osterode
- REISS, M., STEIN, G., ZAENKER, S. (2009): Höhlen als Lebensräume in Hessen; Erfassung, Bewertung und Schutz subterrainer Ökosysteme. In: Naturschutz und Landschaftsplanung 41 (6), 165-171
- REGIONALER PLANUNGSVERBAND CHEMNITZ-ERZGEBIRGE (2008): Regionalplan Chemnitz-Erzgebirge - Fortschreibung; in Kraft getreten am 31.07.2008, Chemnitz
- REGIONALER PLANUNGSVERBAND SÜDWESTSACHSEN (2008): Satzung über die Erste Gesamtfortschreibung des Regionalplanes Südwestsachsen; vom 10.07.2008, Aue
- REGIONALER PLANUNGSVERBAND SÜDWESTSACHSEN (2008): Landschaftsrahmenplan Südwestsachsen - Fachbeitrag, Aue
- SCHNEIDER, P.; NEITZEL, P. L.; OSENBRÜCK, K.; HURST, S. (2000): Methoden zur Behandlung von Flutungswässern im Bergbau. In: Wasser und Abfall 12, S. 20
- SKOUSEN, J. (1991): Anoxic limestone drains for acid mine drainage treatment, Green Lands 21 (4): 30 - 35: <http://www.wvu.edu/~agexten/landrec/passtrt/passtrt.htm> (Zugriff am 09.03.2011)
- SLfUG - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2000): Bodenatlas des Freistaates Sachsen; Teil 3 – Bodenmessprogramm Bodenmessnetz 4 km x 4 km, Freiberg
- SLfUG - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2006): Gebietscharakteristik für den Vorschlag Europäisches Vogelschutzgebiet gemäß Richtlinie 79/409/EWG DE 5543-451 Fichtelberggebiet
- SLfUG - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2007): Naturschutz und Landschaftspflege 2007: Fachliche Arbeitsgrundlagen für einen landesweiten Biotopverbund im Freistaat Sachsen – Pilotphase; Dresden
- SLfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2008): Bewertungshilfen bei der Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung; Dresden: [http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/42\\_MbOrient\\_Februar\\_2010.pdf](http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/42_MbOrient_Februar_2010.pdf)
- SLfUG - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2009): Sächsische Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder, Dresden
- TAMME, S. (2002): Naturnahe Reinigung kontaminierter Bergwerkswässer. Diplomarbeit. TU Bergakademie Freiberg
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (2006): Übersicht über chemische Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer. [https://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/downloads/chem\\_q-anf\\_oberflaechengewaesser.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/downloads/chem_q-anf_oberflaechengewaesser.pdf) (Zugriff am 03.03.2011)

- UBA – UMWELTBUNDESAMT (2008): Wasser, Trinkwasser und Gewässerschutz. Wassergefährdende Stoffe. <http://umweltbundesamt.de/wgs/index.htm> (letzte Änderung 19.6.2008)
- YOUNGER, P. (2000): The adoption and adaptation of passive treatment technologies for Minewaters in the United Kingdom. In: Minewater and the Environment 19, S. 84-97
- WALCHER, E.H. (1996): Untersuchungsbericht Bodenberprobung – Werksgelände Erzbergwerk Grund. Im Auftrag der Preussag AG Metall, Erzbergwerk Grund
- WEISH, P. GRUBER, E.: Radioaktivität und Umwelt, Stuttgart 1986.
- WIKIPEDIA2011:[http://de.wikipedia.org/wiki/Wismut\\_%28Unternehmen%29#Komplexlagerst.C3.A4tte\\_P.C3.B6hla](http://de.wikipedia.org/wiki/Wismut_%28Unternehmen%29#Komplexlagerst.C3.A4tte_P.C3.B6hla) (Zugriff am 02.02.2011)
- WISMUT 2011:  
[http://www.wismut.de/sanierung/nla\\_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail](http://www.wismut.de/sanierung/nla_projekte.php?jahr=&nummer=64&ansicht=detail) (Zugriff am 03.03.2011)
- WOLKERSDORFER, Ch.; Younger, P. L. (2002): Passiver Grubenwasserreinigung als Alternative zu aktiven Systemen. In: Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie 2/2002, S. 67
- ZINNKAMMERN 2011: <http://www.zinnkammern.de/geschichte.cfm>: (Zugriff am 02.02.2011)
- ZWECKVERBAND NATURPARK ERZGEBIRGE/VOGTLAND (Hrsg.) (2003): Naturpark Erzgebirge/Vogtland - Pflege- und Entwicklungskonzeption - Kurzfassung

### **Gesetzliche Vorschriften und Verordnungen**

- AbwV - Abwasserverordnung, in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004, BGBl. I S. 1108, zuletzt geändert am 31. Juli 2009, BGBl. I S. 2585 (Inkrafttreten am 01.03.2010)
- AGA Fließgewässer - Allgemeine Güteanforderungen für Fließgewässer. Entscheidungshilfe für die Wasserbehörden in wasserrechtlichen Erlaubnisverfahren, RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft v. 14.5.1991 - IV B 7 1571/11-30707
- Amt für Wasser- und Bodenschutz beim Landkreis Goslar (2004): Altlasten im LK Goslar. Online in Internet: [www.landkreis-goslar.de](http://www.landkreis-goslar.de) (Zugriff 05.01.2010)
- BauGB – Baugesetzbuch, in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004, BGBl. I S. 2414, zuletzt geändert am 31. Juli 2009, BGBl. I S. 2585 (Inkrafttreten am 01.03.2010)
- BauNVO - Baunutzungsverordnung, in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), zuletzt geändert am 22. April 1993 (BGBl. I S. 466)

- BayWaldG – Waldgesetz für Bayern, in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Juli 2005 (GVBl 2005, S. 313)
- BBodSchG - Bundesbodenschutzgesetz, vom 17. März 1998, BGBl. I S. 502, zuletzt geändert am 9. Dezember 2004, BGBl. I S. 3214
- BBodSchV – Bundes Bodenschutz- und Altlastenverordnung, vom 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554, zuletzt geändert am 31. Juli 2009, BGBl. I S. 2585 (Inkrafttreten am 01.03.2010)
- BNatSchG – Bundesnaturschutzgesetz, vom 25. März 2002, BGBl. I S. 1193, zuletzt geändert am 22. Dezember 2008, BGBl. I S. 2986 BNatSchG –
- BNatSchG 2010 – Bundesnaturschutzgesetz, vom 29.7.2009, BGBl. I Nr. 51, Inkrafttreten am 1.3.2010
- BPG-VO - Verordnung des Bodenplanungsgebietes Harz im Landkreis Goslar, 2001 in Kraft getreten
- BWaldG – Bundeswaldgesetz, vom 2. Mai 1975, BGBl. I S. 1037, zuletzt geändert am 31. Juli 2009, BGBl. I S. 2585 (Inkrafttreten am 01.03.2010)
- FHH-RL – Fauna Flora Habitat-Richtlinie 92/43/EWG, vom 21. Mai 1992, ABl. EG L 206 S. 7, zuletzt geändert am 20. November 2006, ABl. EG L 363 S. 368
- GWRL – Grundwasserrichtlinie 2006/118/EG – RL zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung, vom 12. Dezember 2006, ABl. EG L 372 S. 19, zuletzt ber. 31. Mai 2007, ABl. L Nr. 139 S. 39
- Landkreis Osterode am Harz (1999a): Regionales Raumordnungsprogramm 1998. Beschreibende Darstellung.
- Landkreis Osterode am Harz (1999b): Regionales Raumordnungsprogramm 1998. Erläuterung.
- NBodSchG – Niedersächsisches Bodenschutzgesetz vom 19. Februar 1999, Nds.GVBl. S. 46
- Nds.GVBl – Niedersächsische Verordnung zum wasserrechtlichen Ordnungsrahmen, vom 27. Juli 2004 . Nr.21/2004 S. 268
- NPVO – Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung über den Naturpark "Erzgebirge/Vogtland" (Naturparkverordnung Erzgebirge/Vogtland) vom 09.Mai.1996. Rechtsbereinigt mit Stand vom 01.Januar 2005
- NWaldLG - Niedersächsisches Waldgesetz, vom 21. März 2002, Nds. GVBl. S. 112, zuletzt geändert am 26.03.2009
- Richtlinie prioritäre Stoffe 2008/105/EG, zu Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik, vom 16. Dezember 2008, ABl. EG L 348 S. 84
- ROG – Raumordnungsgesetz, vom 22. Dezember 2008, BGBl. I S. 2986, zuletzt geändert am 31. Juli 2009, BGBl. I S. 2585 (Inkrafttreten am 01.03.2010)
- SächsABG – Sächsisches Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetz

- SächsWG – Bekanntmachung der Neufassung des Sächsischen Wassergesetzes vom 18. Oktober 2004
- SächsWRRLVO – Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Bestandsaufnahme, Einstufung und Überwachung der Gewässer (Sächsische Wasserrahmenrichtlinienverordnung) vom 07. Dezember 2008
- UVPG – UVP-Gesetz, in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 2005, BGBl. I S. 1757, zuletzt geändert am 11. August 2009, BGBl. I S. 2723, Inkrafttreten am 01.03.2010
- Verordnung des Regierungspräsidiums Chemnitz zur Bestimmung des Europäischen Vogelschutzgebietes "Fichtelberggebiet" vom 02. November 2006
- Verordnung über das Landschaftsschutzgebiet Harz (Landkreis Osterode am Harz). Aufgrund der §§ 26, 29, 30 des Nieders. Naturschutzgesetzes (NNatG) in der Fassung vom 11. April 1994 (Nds. GVBl. S. 155, 267), zuletzt geändert durch Gesetz vom 11. Februar 1998 (Nds. GVBl. S. 86)
- Verordnung über Qualitätsanforderungen an Fischgewässer und Muschelgewässer, vom 15. Mai 2007, Nds. GVBl. S. 189
- Verordnung des Regierungspräsidiums Chemnitz zur Bestimmung des Europäischen Vogelschutzgebietes "Fichtelberggebiet" vom 02. November 2006
- WHG – Wasserhaushaltsgesetz, in der Fassung der Bekanntmachung der Neufassung vom 19. August 2002, BGBl. I S. 3245, zuletzt geändert am 22. Dezember 2008, BGBl. I S. 2986
- WHG 2010 – Wasserhaushaltsgesetz 2010, in der Fassung der Bekanntmachung der Neufassung vom 31. Juli 2009, Inkrafttreten am 1.3.2010
- WRRL – Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, vom 23. Oktober 2000, ABl. EG L 327 S. 1, zuletzt geändert am 23. April 2009, ABl. EG L 140 S. 114
- WSGVO - Verordnung des Landkreises Annaberg zum Schutz der Gewässer im Einzugsgebiet der "Oberflächenfassung Kleine Mittweida" (Gebietsnummer: T 5410505) vom 18.09.2007



*M. Erlej, A.-K. Dimmig, C. Neumann*

## ***Wirtschaftswissenschaftliche Aspekte***



*Foto: EFZN / M. Schmidt*

# **Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke**

**Berichtsteil: Institut für Wirtschaftswissenschaft (IfW)**

**Version 1**

**Goslar, 22. Mai 2011**

Institut für Wirtschaftswissenschaft  
Julius-Albert-Str. 2  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon: +49 5323 72 7631  
Telefax: +49 5323 72 7639  
<http://www.wiwi.tu-clausthal.de>

Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
Am Stollen 19  
38640 Goslar  
Telefon: +49 5321 3816 8067  
Telefax: +49 5321 3816 8009  
<http://www.efzn.de>



**Wissenschaftliche Leitung des Berichtsteils**

Prof. Dr. Mathias Erlei  
Institut für Wirtschaftswissenschaft, TU Clausthal

**Bearbeiter**

Dr. Anne-Kathrin Dimmig  
Institut für Wirtschaftswissenschaft, TU Clausthal

Christoph Neumann, B.Eng.  
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, TU Clausthal

**Ansprechpartner bei Rückfragen**

Dr. Anne-Kathrin Dimmig  
Institut für Wirtschaftswissenschaft  
Abteilung für Volkswirtschaftslehre  
Julius-Albert-Str. 2  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
+49 (5323) 72-7631 (fon)  
+49 (5323) 72-7639 (fax)  
akdimmig@tu-clausthal.de

Christoph Neumann, B.Eng.  
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
Forschungsbereich Energiewirtschaft  
Am Stollen 19  
38640 Goslar  
+49 (5321) 3816 8067 (fon)  
+49 (5321) 3816 8009 (fax)  
christoph.neumann@efzn.de

## **Kurzfassung**

Als ein Lösungsbeitrag im Hinblick auf die resultierenden Herausforderungen der fluktuierenden Energiequellen ist die Konzeption eines untertägigen Pumpspeicherwerks (PSWuT) in stillgelegten Bergwerken unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu untersuchen. Einen weiteren Schwerpunkt der Teilstudie bildet die Akzeptanzforschung.

Nach Vorstellung möglicher Flexibilisierungsoptionen wird in einem Kostenvergleich von potenziellen Speichertechnologien dargestellt, dass *zukünftig* verschiedene Energiespeicher mit Energiedurchsatzkosten unter oder bei 10 ct/kWh zur Verfügung stehen könnten. Weiterhin zeigt der Vergleich, dass sich das „konventionelle“ Pumpspeicherwerk als effiziente und wirtschaftlichste Option darstellt. Gleichzeitig muss erwähnt werden, dass die Stand-der-Technik-Variante in Deutschland ein begrenztes Ausbaupotenzial aufweist, was nicht zuletzt auf Akzeptanzgründe zurückzuführen ist. In einer Kostenbetrachtung für ein PSWuT bildet die Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Kosten einen elementaren Bestandteil. Insbesondere sind die Investitionskosten hervorzuheben, die durch einen Bottom-up-Ansatz ermittelt werden, wobei für die Betrachtungen zwei Modellbergwerke als Grundlage dienen. Die spezifischen Investitionskosten einer betrachteten PSWuT-Variante (100 MW, 400 MWh, Standort Bad Grund) liegen je nach Szenario zwischen 1.654 €/kW und 1.978 €/kW. Die Analyse zeigt, dass unter den gewählten Annahmen im Vergleich zu anderen Speicheralternativen höhere Energiedurchsatzkosten resultieren. Dies ist prinzipiell als Wettbewerbsnachteil einzuordnen. Jedoch müssen bei anderen Speicheroptionen die prognostizierten Kostensenkungspotenziale tatsächlich realisiert werden. Zudem muss bei den noch in Entwicklung befindlichen Technologien die technische Verfügbarkeit hergestellt werden. Weiterhin werden verschiedene Ansätze von Kostensenkungspotenzialen eines PSWuT aufgezeigt. Insbesondere bei dem Punkt der Maschinensatzdimensionierung, aber auch bei der Fallhöhe bzw. der Lage der Speicherbecken sowie der Planung des Druckschachtes müssen Wirtschaftlichkeitsaspekte unter Berücksichtigung von technischen sowie (umwelt-)rechtlichen Restriktionen eine Priorität besitzen. Auch die Hybridlösung, also die Schaffung eines Beckens über Tage, ermöglicht Kosteneinsparungen.

Um zu beurteilen, ob ein PSWuT in den Markt eintreten kann, ist die Erlösseite den Kosten gegenüberzustellen. Die Identifizierung und Analyse der Erlösmöglichkeiten zeigt, dass deutliche Unterschiede in den Vermarktungsalternativen des Speicherstroms bestehen. So ist zum Beispiel der alleinige Handel am Spotmarkt eindeutig nicht ausreichend,

damit die investitionsintensive Anlage sich amortisieren könnte. Auch die Blindleistungsbereitstellung sowie das Anbieten der Dienstleistung Schwarzstartfähigkeit sind nicht als Investitionsentscheidungsparameter zu beurteilen. Der Regelenenergiemarkt bietet als Kapazitätsmarkt, bei dem ein Großteil der Erlöse durch die reine Leistungsbereitstellung generiert werden kann, unter Umständen eine interessante Möglichkeit, obgleich die Märkte durch Unsicherheiten eine Investitionsentscheidung erschweren.

Einen weiteren Schwerpunkt der Untersuchung bildet die Akzeptanzforschung. Für eine differenziertere Charakterisierung der Technikakzeptanz wurden verschiedene Technikbereiche betrachtet. Dabei hat sich herausgestellt, dass vor allem im Bereich der großtechnischen Anlagen die Akzeptanz in der Bevölkerung nicht mehr als gegeben vorausgesetzt werden kann bzw. derartige Anlagen in zunehmende Legitimationsschwierigkeiten geraten. Die gesellschaftliche Akzeptanz von Energietechnologien wird insbesondere von der subjektiven Risikowahrnehmung der Individuen beeinflusst. In diesen Zusammenhang gewinnt der emotionale Kontext der Informationsvermittlung für die Risikobeurteilung an Bedeutung. Für die Akzeptanz von Energietechnologien ist zum einen entscheidend, über welche Medien und mit welcher Kommunikationsstrategie das Projekt in die Öffentlichkeit vorgestellt wird, und zum anderen der gewählte Kontext der Informationsvermittlung. Darüber hinaus können Technologien mit zentralem Charakter, wie das PSWuT, eine andere Wahrnehmung in der Bevölkerung hervorrufen als Technologien, die sich über mehrere Regionen erstrecken. Insofern ist der sog. NIMBY-Effekt für die Akzeptanz eines PSWuT nicht zu unterschätzen. Wird das PSWuT in der gewählten Standortgemeinde als NIMBY – Projekt wahrgenommen, ist es nur schwer möglich nachträglich mit entsprechenden Informationsoffensiven dagegen anzusteuern. Die Charakterisierung der möglichen Akzeptanzprobleme in Bezug auf die Modellbergwerke Grund und Pöhla hat deutlich gemacht, dass die Akzeptanzrisiken vor allem aus den Konkurrenzbeziehungen mit anderen Gütern, wie den Wasserschutzgebieten, dem Denkmalschutz, den physischen Beeinträchtigungen der Umwelt oder dem Schutzgut Mensch erwachsen. Die Standorte Bad Grund und Pöhla weisen sehr komplexe Charakteristika auf, sodass aus den Einzelfallbetrachtungen zu den potentiellen Akzeptanzfragen keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden können. Hinzukommt, dass die möglichen Einflussfaktoren der Akzeptanzbildung zum derzeitigen Stand der Studie zwar qualitativ benannt werden können, aber deren Quantifizierung und Wichtung für den tatsächlichen Akzeptanzpro-

zess in der Bevölkerung kann erst im Zuge der Realisierung des Pumpspeicherwerks unter Tage vorgenommen werden.

## Über die Autoren

### **Prof. Dr. Mathias Erlei**

Institut für Wirtschaftswissenschaft, TU Clausthal

*Mathias Erlei* ist Professor für Volkswirtschaftslehre an der Technischen Universität Clausthal. Forschungsschwerpunkte: Institutionenökonomik, Experimentelle Wirtschaftsforschung, Wirtschaftspolitik, Wettbewerbs- und Energieökonomik. *Ausgewählte Veröffentlichungen:* Neue Institutionenökonomik. 2. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2007 [gem. mit M. Leschke und D. Sauerland]; Meritorische Güter. Die theoretische Konzeption und ihre Anwendung auf Rauschgifte als demeritorische Güter. Hamburg, Münster: LIT-Verlag 1992; Conscious parallelism by fixed relative prices. In: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Bd. 222 (2), 2002, S. 186-209; Heterogeneous Social Preferences. In: Journal of Economic Behavior and Organization, Bd. 65, 2008, S. 436-457; Sinnbildung, Religion und Präferenzen – vom homogenen Homo oeconomicus zu heterogenen Homines culturales. In: Jahrbuch Normative und institutionelle Grundfragen der Ökonomik, Bd. 6, 2007, S. 319-346.

### **Dr. Anne-Kathrin Dimmig**

Institut für Wirtschaftswissenschaft, TU Clausthal

*Dr. Dimmig* studierte von 1998 bis 2004 Volkswirtschaftslehre an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Seit 2005 ist Dr. Dimmig wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung für Volkswirtschaftslehre am Institut für Wirtschaftswissenschaft. Die Promotion zum Thema Innovationsverhalten bei Risiko und fundamentaler Unsicherheit erfolgte im Oktober 2010 an der TU Clausthal.

### **Christoph Neumann, B.Eng.**

Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN)

*Christoph Neumann* ist seit September 2009 als Hilfwissenschaftler im Energie-Forschungszentrum Niedersachsen im Forschungsbereich Energiewirtschaft tätig. In seiner Bachelor-Thesis an der Fachhochschule Hannover hat sich der Wirtschaftsingenieur mit den wirtschaftlichen Auswirkungen einer Qualitätsregulierung im Rahmen der Anreizregulierung für die E.ON Avacon AG beschäftigt. Im Anschluss daran nahm der Stipendiat der Stiftung der deutschen Wirtschaft ein Masterstudium seines Fachs an der Technischen Universität Clausthal auf. Der Schwerpunkt dieses Studiums liegt beim Energie- und Rohstoffmanagement.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Kurzfassung</b>	<b>746</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>752</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen</b>	<b>753</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>754</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>757</b>
<b>1. Einführung</b>	<b>758</b>
<b>2. Energiespeicher – notwendiger Bestandteil eines Elektroenergiesystems</b>	<b>758</b>
2.1 Lösungsansätze zur Flexibilisierung	758
2.2 Identifizierung und Kategorisierung von Energiespeichern	763
2.3 Kostenvergleich der Energiespeicheroptionen	764
<b>3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines PSWuT</b>	<b>768</b>
3.1 Einführende Betrachtungen	768
3.2 Vorgehensweise	769
3.3 Investitionskosten eines untertägigen Pumpspeicherwerks	771
3.3.1 Allgemeine Betrachtungen	771
3.3.2 Modellbergwerk Grund	775
3.3.3 Modellbergwerk Pöhla	777
3.4 Einflussfaktoren auf die Energiedurchsatzkosten	780
3.5 Bewertung eines untertägigen Pumpspeicherwerks	785
3.5.1 Modellbergwerk Grund	788
3.5.2 Modellbergwerk Pöhla	790
3.6 Sensitivitätsanalyse	791
3.7 Vergleich der Modellbergwerke	793
3.8 Ableitung von Erkenntnissen aus der Kostenbetrachtung	796
<b>4. Aktuelle Marktsituation und zukünftige Entwicklungen</b>	<b>802</b>

4.1 Ausnutzung von zeitlichen Preisdifferenzen	802
4.2 Regelenergiemarkt	806
4.3 Blindleistungsbereitstellung	809
4.4 Schwarzstartfähigkeit	809
4.5 Ein Business Case	811
<b>5. Akzeptanzforschung</b>	<b>816</b>
<b>6. Elemente der Akzeptanzforschung</b>	<b>817</b>
6.1 Akzeptanzbereiche	817
6.2 Akzeptanzverhalten	820
6.3 Methoden der Akzeptanzforschung	823
6.4 Chancen und Grenzen der Akzeptanzforschung	824
6.5 Subjektive Risikowahrnehmung und Akzeptanzbeurteilung	826
<b>7. Akzeptanzkriterien für Energietechnologien</b>	<b>828</b>
7.1 Risikowahrnehmung	829
7.2 Regionalität	832
7.3 Zentralität vs. Dezentralität	833
7.4 Indirekte Technologiewirkungen	833
7.5 Konkurrierender wirtschaftlicher Nutzen	833
7.6 Konkurrierende Güter	834
7.7 Einordnung des PSWuT anhand der Akzeptanzkriterien	834
<b>8. Modellbergwerk Grund</b>	<b>840</b>
<b>9. Modellbergwerk Pöhla</b>	<b>846</b>
<b>10. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>853</b>
<b>Literatur und Quellen</b>	<b>857</b>



## **Abkürzungsverzeichnis**

PSWuT	Pumpspeicherwerk unter Tage
PSW	Pumpspeicherwerk
EEX	European Energy Exchange
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz

## Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen

$A$	Jährliche Rate an Auszahlungen/Annuität
$E_{\text{inst.}}$	Energiemenge, die im oberen Becken enthalten ist
$E_{\text{Netz}}$	Energiemenge, die bereitgestellt werden kann
$k$	Energiedurchsatzkosten/Speicherkosten in ct/kWh
$k_{\text{Betrieb}}$	spezifische Betriebskosten
$K_{\text{Betrieb},t}$	Betriebskosten im Jahr $t$
$K_{\text{ges}}$	Barwert/Gesamtkosten
$K_{\text{Invest}}$	Investitionskosten
$k_{\text{Strom}}$	Stromkosten in ct/kWh
$k_{\text{OM}}$	Wartungs- und Reparaturkosten (Operation/Maintenance) als prozentualer Anteil an den Investitionskosten
$k_{\text{Personal}}$	Personalkosten als prozentualer Anteil an den Investitionskosten
$K_{\text{Verluste},t}$	Verlustkosten im Jahr $t$
$n$	Zyklen
$\eta$	Wirkungsgrad bei Darstellung der operativen Outputentscheidung
$\eta_{\text{Entladen}}$	Entladewirkungsgrad
$\eta_{\text{Laden}}$	Ladewirkungsgrad
$\eta_{\text{Zyklus}}$	Zykluswirkungsgrad
$p_{\text{hoch}}$	hoher erzielter Preis am Spotmarkt
$p_{\text{niedrig}}$	niedriger erzielter Preis am Spotmarkt
$q$	Selbstentladerate
$r$	Zinssatz
$r_n$	Nominalzins
$r_r$	Realzins
$t$	Jahr
$T$	Systemlebensdauer
$T_a$	Ausnutzungsdauer
$\pi$	Inflationsrate

## Abbildungsverzeichnis

<b>ABBILDUNG 1</b> WETTBEWERBLICHES UMFELD DER SPEICHERTECHNOLOGIE PSWUT UNTER DEM GESICHTS-PUNKT DER FLEXIBILISIERUNG.....	759
<b>ABBILDUNG 2</b> FLEXIBILISIERUNGSBEITRAGSMÖGLICHKEIT VON KRAFTWERKEN .....	761
<b>ABBILDUNG 3</b> ENTLADEZEIT ALS FUNKTION DER SYSTEMGRÖÖE ZUR CHARAKTERISIERUNG VERSCHIEDENER SPEICHERTECHNOLOGIEN - QUELLE: [SVV07], BEARBEITET. ....	764
<b>ABBILDUNG 4</b> VERGLEICH DER SPEZIFISCHEN KOSTEN FÜR DEN ENERGIEDURCHSATZ VON SPEICHERSYSTEMEN FÜR LOAD-LEVELLING AUFGABEN - QUELLE: [DEN10] BZW. [ETG09].	765
<b>ABBILDUNG 5</b> LEISTUNGSSPEZIFISCHE KOSTEN VERSCHIEDENER PUMPSPEICHERWERKE .....	768
<b>ABBILDUNG 6</b> VORGEHENSWEISE ZUR BEWERTUNG EINES UNTERTÄGIGEN PUMPSPEICHERWERKS. ....	770
<b>ABBILDUNG 7</b> KONZEPT EINES UNTERTÄGIGEN PUMPSPEICHERWERKS – QUELLE: [LAM11], BEARBEITET. ....	773
<b>ABBILDUNG 8</b> KOSTENGRUPPEN UND –ANTEILE AN DER GESAMTINVESTITION AM STANDORT BAD GRUND, 400 MWH VARIANTE AM STANDORT BAD GRUND. ....	775
<b>ABBILDUNG 9</b> KOSTEN MIT DEM GRÖÖTEN ANTEIL AN DER GESAMTINVESTITION BEI DER ERRICHTUNG EINES UNTERTÄGIGEN PUMPSPEICHERWERKS, 400 MWH VARIANTE AM STANDORT BAD GRUND. ....	776
<b>ABBILDUNG 10</b> KOSTENGRUPPEN UND –ANTEILE AN DER GESAMTINVESTITION AM STANDORT PÖHLA, 400 MWH VARIANTE AM STANDORT PÖHLA. ....	777
<b>ABBILDUNG 11</b> KOSTEN MIT DEM GRÖÖTEN ANTEIL AN DER GESAMTINVESTITION BEI DER ERRICHTUNG EINES UNTERTÄGIGEN PUMPSPEICHERWERKS, 400 MWH VARIANTE AM STANDORT PÖHLA. ....	779
<b>ABBILDUNG 12</b> EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE ENERGIEDURCHSATZKOSTEN – QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG NACH [ETG09], [GIE09]. ....	780
<b>ABBILDUNG 13</b> ZEITPLAN EINER PSWUT ERRICHTUNG. ....	784
<b>ABBILDUNG 14</b> SCHEMATISCHE DARSTELLUNG ZUR BESTIMMUNG DES BARWERTS. ....	786
<b>ABBILDUNG 15</b> SCHEMATISCHE DARSTELLUNG ZUR BESTIMMUNG DER ANNUITÄTEN. ....	787
<b>ABBILDUNG 16</b> SPEZIFISCHE KOSTEN IN ABHÄNGIGKEIT DER ZYKLENZAHL AM STANDORT BAD GRUND [ENTLADELEISTUNG 100 MW, ENTLADED AUER 4 H, KAPITALKOSTEN 8 %, ...	

STROMKOSTEN 4 CT/kWh, INVESTITIONSKOSTEN 1978 €/kW (WORST) UND 1654 €/kW (BEST)]. .....	788
<b>ABBILDUNG 17</b> SPEZIFISCHE KOSTEN IN ABHÄNGIGKEIT DER ZYKLENZAHL BEI REDUZIERUNG DER ENERGIEMENGE PRO ZYKLUS AM STANDORT BAD GRUND [ENTLADELEISTUNG 100 MW, ENTLADEDAUER 2 H, KAPITALKOSTEN 8 %, STROMKOSTEN 4 CT/kWh, INVESTITIONSKOSTEN 1704 €/kW (WORST) UND 1380 €/kW (BEST)]. .....	789
<b>ABBILDUNG 18</b> SPEZIFISCHE KOSTEN IN ABHÄNGIGKEIT DER ZYKLENZAHL AM STANDORT PÖHLA [ENTLADELEISTUNG 100 MW, ENTLADEDAUER 4 H, KAPITALKOSTEN 8 %, STROMKOSTEN 4 CT/kWh, INVESTITIONSKOSTEN 2179 €/kW (WORST) UND 1994 €/kW (BEST)]. .....	790
<b>ABBILDUNG 19</b> SPEZIFISCHE KOSTEN IN ABHÄNGIGKEIT DER ZYKLENZAHL BEI REDUZIERUNG DER ENERGIEMENGE PRO ZYKLUS AM STANDORT PÖHLA [ENTLADELEISTUNG 100 MW, ENTLADEDAUER 2 H, KAPITALKOSTEN 8 %, STROMKOSTEN 4 CT/kWh, INVESTITIONSKOSTEN 1797 €/kW (WORST) UND 1669€/kW (BEST)] .....	791
<b>ABBILDUNG 20</b> NORMIERTE ENERGIEDURCHSATZKOSTEN AUF DEN BEST CASE BEI VARIATION DES REALEN ZINSSATZES FÜR DEN WORST UND BEST CASE, REFERENZFALL BEI EINEM ZINSSATZ VON 8% DES BEST CASE. ....	792
<b>ABBILDUNG 21</b> NORMIERTE ENERGIEDURCHSATZKOSTEN (BEST CASE) BEI VARIATION DER SELBSTENTLADERATE UND VERSCHIEDENEN STROMPREISEN, REFERENZFALL BEI EINER RATE VON 2,6 %/D UND EINEM STROMPREIS VON 4 CT/kWh. ....	792
<b>ABBILDUNG 22</b> NORMIERTE ENERGIEDURCHSATZKOSTEN (BEST CASE) BEI VARIATION DES ZYKLUSWIRKUNGSGRADS UND VERSCHIEDENEN STROMPREISEN, REFERENZFALL BEI EINEM WIRKUNGSGRAD VON 76,3% UND EINEM STROMPREIS VON 4 CT/kWh. ....	793
<b>ABBILDUNG 23</b> VERGLEICH VON SPEICHERTECHNOLOGIEN HINSICHTLICH DER ENERGIEDICHTE – IN ANLEHNUNG AN [BUC09]. .....	799
<b>ABBILDUNG 24</b> PRINZIPIELLE DARSTELLUNG EINER MERIT-ORDER UND ZUKÜNFTIGE EFFEKTE AUF DIE LANGFRISTIGE PRESENTWICKLUNG BEI ANNAHME VON STEIGENDEN ZERTIFIKATSPREISEN UND EINEM AUSSTIEG AUS DER KERNENERGIE. ....	804
<b>ABBILDUNG 25</b> STROMPREISVERLAUF AM SPOTMARKT DER EEX (OBEN) UND ERZEUGTER LEISTUNGSVERLAUF VON PUMPSPEICHERWERKEN (UNTEN) AM 04.03.2010 (DO). [EEX/1] OBEN, [EEX/2], UNTEN. ....	805
<b>ABBILDUNG 26</b> VERMARKTUNG VON REGELENERGIE - QUELLE: [Ma10] .....	807
<b>ABBILDUNG 27</b> MASCHINENEINSATZ DES PUMPSPEICHERWERKS SÄCKINGEN AM 2. NOVEMBER 2008 – QUELLE: [SSW08] .....	809

<b>ABBILDUNG 28</b> ERGEBNISDARSTELLUNG DES BUSINESS CASE; GRUNDLAGE DER KOSTEN: PSWuT GRUND, BEST CASE IM 400 MWh SZENARIO.....	812
<b>ABBILDUNG 29</b> QUALITATIVE DARSTELLUNG EINES RISIKOÜBERBLICKS BEI DER ERRICHTUNG EINES PSWuT – QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG IN ANLEHNUNG AN [Lim10].....	813
<b>ABBILDUNG 30</b> EINFLUSSFAKTOREN FÜR DIE GESELLSCHAFTLICHE AKZEPTANZ DES PSWuT – QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG NACH [Fis08/2] .....	836
<b>ABBILDUNG 31</b> WERKSGELÄNDE WIEMANNSSBUCHT BEI BAD GRUND (© 2011 GEOCONTENT, GOOGLE EARTH) .....	840
<b>ABBILDUNG 32</b> WASSERSCHUTZGEBIETE NAHE DER WIEMANNSSBUCHT (© 2011 LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDENTWICKLUNG NIEDERSACHSEN (LGLN)).....	841
<b>ABBILDUNG 33</b> PRINZIPSKIZZE MODELLBERGWERG GRUND MIT VIER STUNDEN BETRIEBSZEIT (JARRAH, IBB, 07.03.2011) .....	842
<b>ABBILDUNG 34</b> LAGE DES STOLLENSYSTEMS UND DER LUCHSBACHHALDE AM STANDORT DES MODELLBERGWERKS PÖHLA (GORCZYK, IGM, 21.01.2011) .....	848
<b>ABBILDUNG 35</b> PRINZIPSKIZZE DES MODELLBERGWERKS PÖHLA MIT VIER STUNDEN BETRIEBSZEIT (JARRAH, IBB, 04.03.2011) .....	848
<b>ABBILDUNG 36</b> SCHUTZGEBIETE IM AREAL DES MODELLBERGWERKS SOWIE DIE LAGE DER SPEICHERBECKEN DES PSWuT (FURUI, IGM, 02.03.2011).....	849

## **Tabellenverzeichnis**

<b>TABELLE 1</b> THEORETISCHES LASTMANAGEMENTPOTENZIAL IN DEN SEKTOREN INDUSTRIE, GEWERBE, HANDEL, DIENSTLEISTUNGEN UND HAUSHALTE – QUELLE: [KLO07]. .....	760
<b>TABELLE 2</b> MITTLERE, PROGNOTIZIERTE BAUKOSTEN IM VERGLEICH DER MODELLBERGWERKE	795
<b>TABELLE 3</b> ANNAHMEN DES BUSINESS CASE; WERTE ORIENTIEREN SICH AN EIGENEN BERECHNUNGEN SOWIE AN DEM PREISNIVEAU IN 2010. ....	811
<b>TABELLE 4</b> METHODOLOGISCHE GRUNDLAGEN DER AKZEPTANZFORSCHUNG – QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG NACH [END86]. ....	817
<b>TABELLE 5</b> AKZEPTANZPARAMETER DER DREI TECHNIKBEREICHE – QUELLE: [REN97]. ....	819
<b>TABELLE 6</b> INDIKATOREN UND UNTERSUCHUNGSLEITENDE FRAGEN ZUR MESSUNG DER TECHNIKAKZEPTANZ – QUELLE: [FIS08], BEARBEITET. ....	823
<b>TABELLE 7</b> ANWENDUNG DER AKZEPTANZKRITERIEN AUF DAS PSWUT. ....	834

## **1. Einführung**

Mit dem Ausbau der regenerativen Energien als Produzent von elektrischer Energie wird gleichzeitig die Notwendigkeit geschaffen, zusätzliche Energiespeicher in das Netz einzubinden um die Integration - insbesondere der Windkraft - sicherzustellen [Str10]. Da das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf eine Optimierung der Stromeinspeisung von regenerativen Energien abzielt, richten sich diese nicht nach der tatsächlich nachgefragten Energie, was den Bedarf an Flexibilisierungsoptionen erzeugt.

Das in dieser Studie vorgestellte Konzept eines untertägigen Pumpspeicherwerks in stillgelegten Bergwerken kann als neuartige Speichertechnologie einen Beitrag hierzu liefern. Neben der technischen Realisierbarkeit des Projekts ist nun ebenfalls zu untersuchen, wie die Konzeption unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu bewerten ist. Darüber hinaus werden im Rahmen dieses Teilberichts Aspekte thematisiert, die einen potentiellen Einfluss auf die Akzeptanz einer derartigen Technologie haben können.

In einem ersten Schritt werden die möglichen Lösungsansätze zur Flexibilisierung vorgestellt. Insbesondere sollen die grundsätzlich einsetzbaren Speichertechnologien und damit konkurrierenden Systeme zu dem hier diskutierten identifiziert und hinsichtlich ihrer Kosten verglichen werden. Als Schwerpunkt wird darauf folgend im Kapitel 3 eine Kostenanalyse von untertägigen Pumpspeicherwerken in zwei Modellbergwerken durchgeführt. Anschließend erfolgen Erläuterungen zur aktuellen Marktsituation und den zukünftigen Entwicklungen.

In einem zweiten Schritt werden Aspekte zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Energietechnologien thematisiert und des Weiteren auf die Pumpspeichertechnologie unter Tage angewendet. Darüber hinaus wird für die Standorte Bad Grund und Pöhla eine qualitative Akzeptanzanalyse durchgeführt.

## **2. Energiespeicher – notwendiger Bestandteil eines Elektroenergiesystems**

### **2.1 Lösungsansätze zur Flexibilisierung**

Untertägige Pumpspeicherwerke in Deutschland zu errichten stellt eine Möglichkeit zur besseren Integration von erneuerbaren Energien dar. Neben dieser Option gibt es eine Reihe weiterer Möglichkeiten, zu denen untertägige Pumpspeicherwerke demnach in einer Wechselwirkung stehen. Die Beziehungen der folgend aufgeführten Möglichkeiten



zum PSWuT sind unterschiedlicher Art und damit nicht zwangsläufig als vollständige Substitute zu sehen. Dennoch sollten sie bei einer Betrachtung des wettbewerblichen Umfelds (im weiteren Sinne) mit aufgeführt werden.



**Abbildung 1** Wettbewerbliches Umfeld der Speichertechnologie PSWuT unter dem Gesichtspunkt der Flexibilisierung.

### **Netzausbau**

Getrieben durch einen starken Ausbau von Windkraftanlagen (und Photovoltaik-Anlagen) kommt es vermehrt dazu, dass Engpässe bei den Übertragungs- und Verteilnetzen entstehen. Es wäre denkbar, mit Speichern eine Alternative zum Netzausbau zu liefern. Jedoch zeigen Beispielrechnungen wie in [Sau09/1], dass Speicher in den meisten Fällen keine wirtschaftliche Alternative für den Netzausbau darstellen. Problematisch ist die Situation dadurch, dass von dem identifizierten Trassenbedarf im Bereich der Übertragungsnetze aus der ersten dena-Netzstudie von 850 Kilometern bis 2015 bis heute lediglich ein kleiner Teil realisiert werden konnte. In der aktuellen und zweiten dena-Netzstudie wird in der günstigsten Variante gar ein Bedarf von 3600 Kilometern Freileitungen festgestellt, der zusätzlich umzusetzen wäre. [Den10/2]. Dabei ist es möglich, dass Speicher bei fehlender Netzkapazität die Integration von erneuerbaren Energien unterstützen. Darüber hinaus können Speicher dazu beitragen, dass sogenannte Redispatch Maßnahmen<sup>1</sup> verringert werden [Den10/1].

### **Lastmanagement**

Als weitere Option kann die Flexibilisierung der Nachfrage nach Elektrizität durch Maßnahmen im Lastmanagement genannt werden. Bereits lange genutzte Möglichkeiten sind beispielsweise Nachtspeicherheizungen oder auch Verträge mit Großkunden zur Absen-

---

<sup>1</sup> Marktbezogene Maßnahme, um Engpässe im Stromnetz zu verhindern bzw. zu beseitigen, damit die Systemverantwortung der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) gewährleistet werden kann.

kung von Spitzen bei der Leistungsbereitstellung. Verschiedene Rechnungen versuchen darüber hinaus die Potenziale des Lastmanagements zu quantifizieren. In den Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel sowie Dienstleistungen und Haushalte gibt es Anwendungen, die flexibel nutzbar sind.

**Tabelle 1** Theoretisches Lastmanagementpotenzial in den Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Haushalte – Quelle: [Klo07].

	Verlagerbare Energie (GWh)	Maximale Leis- tung (MW)
Sommer	ca. 19.000	ca. 17.000
Winter (ohne Nachtspei- cher/Wärmepumpen)	ca. 15.570	ca. 9.500

Die Werte sind als *theoretisches* Potenzial zu interpretieren. Technische und wirtschaftliche Betrachtungen schränken die Flexibilisierungsoption weiter ein. Einige Voraussetzungen und Entwicklungsarbeiten, wie die Ausbreitung der modernen Zählertechnologie, sind noch zu leisten. Ein adäquater Vergleich zu Speichertechnologien ist nur schwer zu ziehen. Vertreter der Industrie sehen die Möglichkeiten in diesen Bereichen deutlich kleiner. Hier ist die Rede von einem technischen Potenzial von 2.500 MW, wobei sogar weniger als die Hälfte davon als wirtschaftlich eingeschätzt wird. Zudem müssen zur Realisierung der Potenziale Akzeptanzhürden überwunden werden [Sch11].

Als prinzipieller Vorteil gegenüber Speichertechnologien ist zu nennen, dass bei Demand-Side-Management Maßnahmen keine elektrischen Verluste auftreten müssen, wobei bei einer mit einem Wirkungsgrad behafteten Speichertechnologie dies stets der Fall ist.

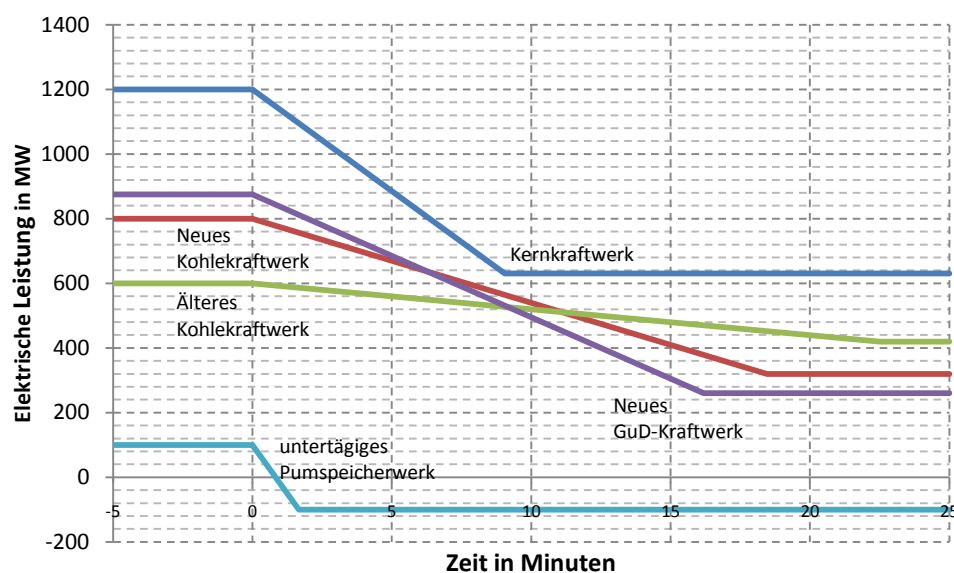
## Elektromobilität

Wenn im Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge in Deutschland existieren, ist auch hier ein zumindest theoretisch hohes Speicherpotenzial vorhanden. Als virtueller Großspeicher stünden sie in ihrer Gesamtheit für Speicheraufgaben zur Verfügung. Dabei macht [ETG09] deutlich, dass durch intelligentes Management die Verfügbarkeit eines Fahrzeugs irrelevant ist und das Kollektiv mit seiner statistischen Verfügbarkeit betrachtet werden kann. Es wäre möglich, dass hierdurch Regelleistung (durch zum Beispiel Aufnahme oder Unterbrechung des Ladevorgangs) sowie weitere Speicheraufgaben „bis zu einem Tag“ geleistet werden können.

Wohke stellt demgegenüber bei Betrachtung der aktuellen Marktsituation fest, dass auf dem Spot- und Regelenenergiemarkt keine ausreichenden Anreize für Anwendungen aus diesem Bereich bestehen [Woh10] oder anders formuliert: Die Kosten um die Fahrzeuge als Energiespeicher zu verwenden erscheinen zu hoch. Zum heutigen Zeitpunkt ist es problematisch, das nutzbare Potenzial zu quantifizieren. Erschwert wird dies durch die noch nicht absehbaren Geschäftsmodelle, Ladestrategien und Kosten. Die Lieferung eines Beitrags über dem primären Nutzen der Mobilität hinaus zum Ausgleich von fluktuierenden Elektrizitätsbereitstellung ist durch die Elektromobilität kurz- bis mittelfristig nur begrenzt zu erwarten.

### Flexible Kraftwerke

Bereits heute tragen konventionelle Kraftwerke dazu bei, ein Gleichgewicht im Netz herzustellen, indem Sie ihre Leistungsbereitstellung variieren. Wie die folgende Grafik verdeutlicht, sind u.a. auch Grundlastkraftwerke in der Lage, eine gewisse Flexibilität bereitzustellen.



**Abbildung 2** Flexibilisierungsbeitragsmöglichkeit von Kraftwerken  
(idealisierte Darstellung) – Quelle: [Vah11], bearbeitet.

Allerdings entsprechen stark flexible Fahrweisen nicht dem ursprünglichen Zweck dieser Kraftwerke und auch nicht ihrer optimalen Fahrweise. Die Folgen sind ein geringerer Wirkungsgrad und in der Konsequenz steigende Betriebskosten und erhöhte CO<sub>2</sub>-Emissionen. In einer zukünftig immer regenerativeren Stromerzeugung werden die Herausforderungen weiter wachsen, wobei die technischen Grenzen zur Einhaltung der Netzstabilität beibehalten werden müssen. Mit einem Abbau von Kraftwerkskapazitäten wie

bspw. der Kernkraft sowie der älteren Kohlekraftwerke sinkt zudem der mögliche Flexibilisierungsbeitrag.

Zusätzlich sind die Kraftwerke darauf angewiesen, je nach typischer Ausnutzungsdauer, am Netz zu sein, um betriebswirtschaftlich positive Ergebnisse zu erzielen. Bei Beibehaltung des aktuellen Marktdesigns würde sich durch den Ausbau der erneuerbaren Energien das Residualmarktvolumen<sup>2</sup> verkleinern. Wenn gleichzeitig zur Deckung der Netzhöchstlast fortwährend ein großer Kraftwerkspark benötigt wird, da die gesicherte Leistung beispielsweise der Windenergie verhältnismäßig geringe Beiträge liefert, ist die Folge eine geringere Auslastung der konventionellen Kraftwerke.

Zum Vergleich ist in der obigen Darstellung ein untertägiges Pumpspeicherwerk mitaufgeführt und weist mit der höchsten Leistungsänderungsgeschwindigkeit von 2 MW/sec eine große Einsatzflexibilität auf. Zudem erkennt man das Alleinstellungsmerkmal eines Speichers, Energie einspeichern zu können und damit Leistung aufzunehmen.

### **Speicher im Ausland**

Um dem Speicherbedarf zu begegnen, werden das Speicherpotenzial skandinavischer Länder – insbesondere von Norwegen – als Argument angeführt. Die wesentlichen Vorteile sind die in der Regel bereits bestehenden Ober- und Unterseen sowie die Größenordnungen, die vorgefunden werden. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) geht dabei soweit, dass er die klare Empfehlung ausspricht, „möglichst bald eine Kooperation“ mit entsprechenden Ländern anzustreben [SRU11]. In Szenarien wird dargestellt, dass die berechneten durchschnittlichen Stromgestehungskosten für Deutschland dadurch sinken können.

Bei dieser Option sind als Nachteile aufzuführen, dass für den nicht benötigten und damit zu speichernden Strom sowie auch für den ausgespeicherten Strom jeweils Übertragungsverluste auftreten. Diese müssten durch zusätzliche Erzeugung ausgeglichen werden. Ein untertägiges Pumpspeicherwerk hätte demgegenüber bezüglich des Standorts durch die Nähe an Erzeugung bzw. Verbrauch einen Vorteil. Ein „Supergrid“ mit Verbindung zu den skandinavischen Speicherpotenzialen ist zudem heute nicht vorhanden. Des Weiteren birgt die Variante „Speicher im Ausland“ eine gewisse Abhängigkeit, die aber für den

---

<sup>2</sup> Energiemenge, die mit konventionellen Kraftwerken gedeckt werden muss.

skandinavischen Fall als kein nennenswertes Versorgungsrisiko eingeschätzt wird [SRU11].

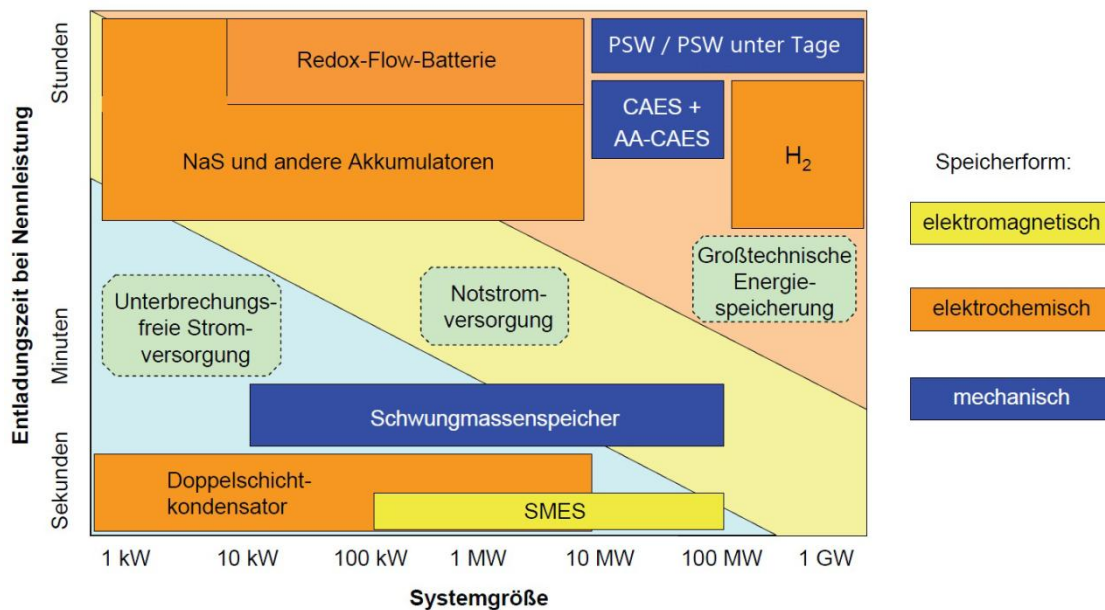
Zu bedenken ist, dass auch in Norwegen bei derartigen Großprojekten Akzeptanzschwierigkeiten nicht ausgeschlossen werden können [Sch11]. Der Zusammenhang der höheren Zustimmung der Gesellschaft, wenn ein Nutzen für die eigene erneuerbare Stromerzeugung hergestellt wird, ist bekannt. Hier müsste die norwegische Bevölkerung bereit sein, ein anderes Land beim Übergang in ein regeneratives Energiezeitalter zu unterstützen.

Der naheliegende Vergleich von untertägigen Pumpspeicherwerken mit **weiteren Speichertechnologien** wird dabei in den folgenden Kapiteln gesondert und auch quantitativ betrachtet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass insbesondere bei den Speicherpotentialen im Ausland, beim Lastmanagement, aber auch bei der Elektromobilität die theoretischen Potenziale hoch sind. Unterschiedlichste Voraussetzungen machen eine Voraussage des in der Zukunft realisierbaren Beitrags schwierig. Auch Akzeptanzfragen können und werden bei einzelnen Optionen zum entscheidenden Kriterium. Der geringe wirtschaftlich sowie nachhaltig umsetzbare Beitrag deutet darauf hin, dass zukünftig ein weiterer Flexibilisierungs- bzw. Speicherbedarf entstehen wird, der sogar das Thema Förderung von Speichertechnologien in die politische Diskussion bringt [BMU10]. Ein untertägiges Pumpspeicherwerk wäre als nationale Option in Kombination als eine verfügbare und sichere Technologie attraktiv.

## **2.2 Identifizierung und Kategorisierung von Energiespeichern**

Hinsichtlich des notwendigen Energiespeicherausbaus stellt sich die Frage, welche Speichertechnologie großtechnisch in der Lage ist, die zukünftigen Anforderungen zu erfüllen. Gleichzeitig soll in diesem Abschnitt beantwortet werden, welche Systeme in Konkurrenz zu einem untertägigen Pumpspeicherwerk stehen. Hierzu ist in Abbildung 3 die Entladungszeit bei Nennleistung als Funktion von typischen Systemgrößen verschiedener Speicherarten im doppelt logarithmischen Maßstab dargestellt.



**Abbildung 3** Entladezeit als Funktion der Systemgröße zur Charakterisierung verschiedener Speichertechnologien - Quelle: [SVV07], bearbeitet.

Als konkurrierende Speichersysteme in einem Bereich von Stunden bei der Entladungszeit und mehreren Megawatt bis Gigawatt bei der Systemgröße als charakteristische Größenordnungen für die benötigten Speicher können drei Technologien identifiziert werden. Dazu zählen die Stand-der-Technik-Variante der Pumpspeicherwerke, der Druckluftspeicher in der diabatischen sowie der adiabatischen Form und die Nutzung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) zur Rückverwandlung in Strom (oben rechts in Abbildung 3).

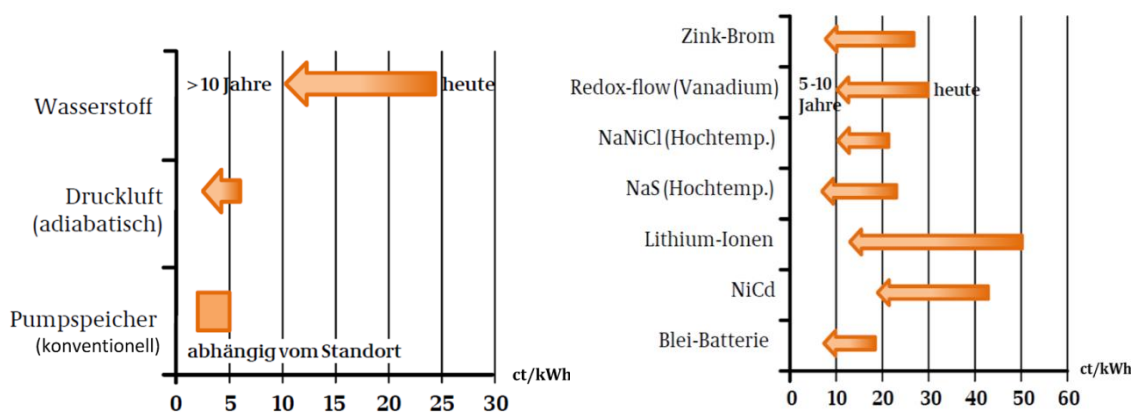
### 2.3 Kostenvergleich der Energiespeicheroptionen

Um die angesprochenen drei Technologien Pumpspeicherwerke, Druckluftspeicher (adiabatisch<sup>3</sup>) und Wasserstoff ökonomisch bewerten zu können, eignet es sich, die spezifischen Kosten für den Energiedurchsatz als Wirtschaftlichkeitskriterium heranzuziehen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sollte man langfristig mindestens diese Kosten als Differenz zwischen Verkaufs- und Einkaufsstrompreis erwirtschaften. Die Erlöse sind dabei

<sup>3</sup> Bei den Druckluftspeichern zeichnet sich die Tendenz ab, dass das adiabate Konzept als (lokal) emissionsfreies, reines Speicherkraftwerk mit dem höheren Wirkungsgrad der diabaten Technologie in der Zukunft überlegen sein wird, sofern die notwendigen Entwicklungsarbeiten erfolgreich sein werden [Tus08]. Insbesondere der geringe Wirkungsgrad und die notwendige Kombination mit einem konventionellen Gaskraftwerk und damit die Kopplung der Wirtschaftlichkeit am Gaspreis bzw. dessen Entwicklung veranlassen, sich im Folgenden auf die Betrachtung des adiabaten Konzepts zu beschränken.

durch den Energiehandel und/oder durch das Anbieten von Systemdienstleistungen zu realisieren [ETG09].

Die Betrachtung der spezifischen Kosten von Energiespeichern wurde im Rahmen einer VDE-Studie umfassend durchgeführt [ETG09], wobei Auszüge der Ergebnisse in der Abbildung 4 zusammengefasst sind. Die Daten basieren auf Recherchen zu realisierten Anlagen in verschiedenen Ländern bzw. auf Studien und Expertenbefragungen. Das linke Ende der Balken bei den Kostenentwicklungen ist der prognostizierte erreichbare Wert, der durch Umsetzungen von technischen Weiterentwicklungen und Effekten des Economy of Scale ermöglicht werden kann.



**Abbildung 4** Vergleich der spezifischen Kosten für den Energiedurchsatz von Speichersystemen für Load-Levelling Aufgaben - Quelle: [Den10] bzw. [ETG09].

Die Berechnungen zeigen, dass ein Pumpspeicherwerk heute das günstigste Speichersystem für Load-Levelling<sup>4</sup> Aufgaben ist. Die spezifischen Kosten werden für die Standard-Technik-Variante mit 2,8 bis 5,3 ct/kWh angegeben<sup>5</sup>. Die Bandbreite entsteht in erster Linie aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten bei den Standorten und den damit verbundenen Kostendifferenzen. Lediglich adiabatische Druckluftspeicher werden durch die erwarteten Kostenentwicklungen und durch den technischen Fortschritt in den kommenden Jahren vergleichbar sein. Wasserstoffspeichersysteme, die prinzipiell aus den Komponenten eines Konverters (Elektrolyseur), eines Speichers (Salzkaverne) und aus einer Einheit zur Rückgewinnung (Brennstoffzelle oder GuD-Kraftwerk) bestehen, werden in der untersuchten Referenzklasse mit deutlich höheren Kosten ausgewiesen.

<sup>4</sup> Zeitliche Entkopplung von Angebot und Bedarf im Tagesrhythmus.

<sup>5</sup> Referenzfall 2a und b „Stundenspeicher“, Leistung 1 GW, Entladedauer 8 h, weitere Annahmen siehe [ETG09].



Eine Studie der Deutschen Energie-Agentur (dena) kommt zu dem gleichen Ergebnis, dass bei Betrachtung verschiedener Speichertechnologien ein Pumpspeicherwerk die niedrigsten Stromgestehungskosten aufweist [Den08]. Für den untersuchten Fall unter den in [Den08 S. 66 ff.] gesetzten Annahmen, ergibt sich ein Wert von 7,73 ct/kWh<sup>6</sup>. Subtrahiert man von den Kosten die angenommenen Strombezugskosten von 1,5 ct/kWh, erhält man Energiedurchsatzkosten in Höhe von 6,23 ct/kWh. Die effiziente und wirtschaftliche Energiespeicherungsmöglichkeit ist ein wesentlicher Grund, warum Pumpspeicherwerke einen Anteil von mehr als 99% an der weltweit installierten Speicherkapazität besitzen [BWD09].

Einschränkend zur zukünftigen Verfügbarkeit ist anzumerken, dass für Neubauten von konventionellen Pumpspeicherwerken in Deutschland keine nennenswerten Zuwächse zu erwarten sind. Die Gründe sind hohe topographische Voraussetzungen sowie gravierende Landschaftseingriffe, die im übertägigen System erfolgen müssen. Bei der Betrachtung des notwendigen Energiespeicherausbaus wird diese bislang günstigste großtechnische Speichermöglichkeit nur begrenzt einen Beitrag liefern können.

Nicht zu vernachlässigen sind weitere Entwicklungen der Speichertechnologien von elektrochemischen Speichern (vgl. Abbildung 4). Bei der Systemgröße können sie durch den modularen Aufbau in einen Bereich kommen, der heute noch traditionell von Pumpspeicherwerken geprägt ist. Studien belegen, dass entsprechende Systeme in 5 bis 10 Jahren Energiedurchsatzkosten von 8 - 12 ct/kWh erreichen können [ETG09].

Es zeigt sich, dass für lediglich eine<sup>7</sup> von den hier betrachteten, einsetzbaren Speichertechnologien Kosten für den Energiedurchsatz unterhalb von 5 ct/kWh prognostiziert werden. Dabei handelt es sich um den adiabatischen Druckluftspeicher, bei dem erwähnt sei, dass die bestehenden technischen Herausforderungen eine Angabe des Zeitraums der Marktfähigkeit erschweren. Auf der anderen Seite kann eine grobe Abschätzung einer Kos-

---

<sup>6</sup> Pumpspeicherwerk mit einer installierten Leistung von 300 MW und einer Speicherkapazität von 2000 MWh, weitere betrachtete Speichertechnologien in der gleichen Größenordnung: diabate u. adiabate Druckluftspeicher, REDOX Flow Batterie, Wasserstoffsystem.

<sup>7</sup> Bei zukünftigen Betrachtungen muss davon ausgegangen werden, dass PSW Standorte in Deutschland nicht oder nur im geringen Ausmaß vorhanden sind bzw. dann höhere Kosten entstehen würden. Davon abgesehen könnte in Leistungs- oder auch Kapazitätserweiterungen bei bestehenden Anlagen ein Potenzial gesehen werden.

tenobergrenze erfolgen, die ein neuartiges Speichersystem nicht überschreiten sollte, um am Markt bestehen zu können. Deutlich oberhalb von 10 ct/kWh dürfte es eine Technologie schwer haben, konkurrenzfähig zu arbeiten, da beispielsweise Batteriesysteme und die Wasserstofftechnologie kostengünstiger arbeiten könnten.

Eine exakte Angabe von zukünftigen Wirtschaftlichkeitsschranken durch den Vergleich von komplexen, teilweise noch nicht marktfähigen Speichersystemen ist nicht möglich und auch nicht sinnvoll. Es ist durchaus denkbar, dass auch teurere Speichersysteme ihre Legitimation finden werden, am Markt Strom anzubieten. Zur Veranschaulichung seien drei Effekte angesprochen, welche eine derartige Abschätzung zwangsläufig mit Unsicherheit bestücken:

- Technische Spezifikationen: Bei der Betrachtung von weiteren technischen Gesichtspunkten können Vorteile gegenüber anderen Systemen identifiziert werden, die auf der Erlösseite zu Unterschieden führen und bei der kostenbasierten Analyse keine Beachtung finden. (Bsp.: Funktion des reinen Phasenschieberbetriebs bei Pumpspeicherwerken zur Spannungsregelung.)
- Politische Einflussnahme: Beispielsweise haben Änderungen im Marktdesign, Einführung/Modifikation von Förderungskonzepten oder allgemeiner formuliert, Änderungen von Rahmenbedingungen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklungen des Kraftwerksparks und auch für die Zukunft von Speichertechnologien.
- Wirtschaftliche Gesichtspunkte: Es bestehen Unterschiede hinsichtlich der Zeiträume, in denen das gebundene Kapital wieder zurückgeflossen ist. Mit anderen Worten, der investitionsintensive Großspeicher hat längere Amortisationszeiten als z.B. eine Batterietechnologie.

Dennoch kann aufbauend auf den Erkenntnissen der prognostizierten Kostenbereiche eine bessere Abschätzung der wirtschaftlichen Marktfähigkeit eines untertägigen Pumpspeicherwerks erfolgen, wenn für dieses die Energiedurchsatzkosten berechnet werden (vgl. Kapitel 3.5).

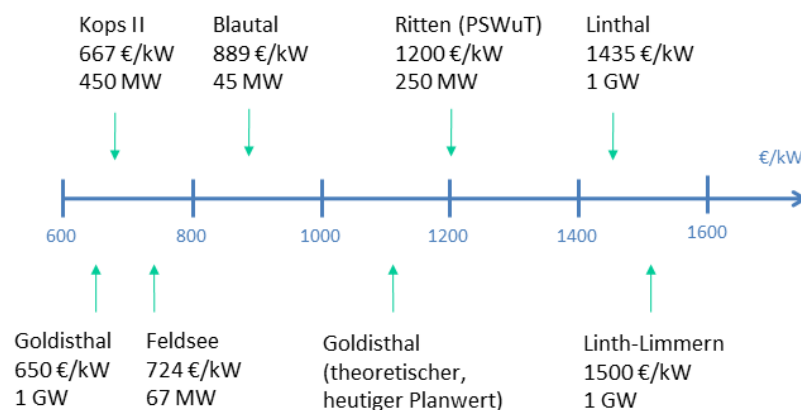
Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zur großtechnischen Energiespeicherung in einer technischen und wirtschaftlichen Realisierung im Wesentlichen nur der Pumpspeicher zur Verfügung steht. Diese Option ist aber durch das geringe deutschlandweite Ausbaupotenzial begrenzt. Andere Lösungen zur Speicherung befinden sich noch in einem frühen Stadium oder es existieren lediglich Pilotanlagen. So bestehen beispielsweise Planungen

u.a. von RWE und General Electric zur Errichtung eines adiabaten Druckluftspeichers oder von Evonik, die Entwicklungsarbeiten an einem großen Batteriespeicher durchführen [Str10].

### 3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines PSWuT

#### 3.1 Einführende Betrachtungen

Wenn Vergleiche hinsichtlich der Kosten von Energiespeichertechnologien angestellt werden, geschieht dies häufig in Form von spezifischen Investitionskosten. Als Bezugsgröße eignet sich hierbei die installierte Leistung. In Abbildung 5 sind die leistungsspezifischen Kosten verschiedener Pumpspeicherwerke auf einem Zahlenstrahl angegeben.



**Abbildung 5** Leistungsspezifische Kosten verschiedener Pumpspeicherwerke<sup>8</sup>.

In diesem ersten Kostenvergleich zeigt sich, dass das hinsichtlich der Leistung groß dimensionierte PSW Goldisthal in dieser Übersicht die günstigsten Kosten pro installierte Leistung aufweist. Allerdings müssen Pumpspeicherwerke mit kleineren Leistungen nicht zwingend signifikant höhere, relative Kosten aufweisen. Das PSW Linthal oder Linth-Limmern in der gleichen Größenordnung wie Goldisthal verdeutlicht mit erheblich höheren Leistungskosten, dass Einflusskosten wie z.B. die topographischen Gegebenheiten eine Rolle spielen. Auch die unterschiedlichen, tatsächlich speicherbaren Energiemengen werden bei dieser Sichtweise nicht beachtet, was diese Art von Betrachtungen weiter einschränkt. Ein energiebezogener Ansatz, der alle wesentlichen Einflussfaktoren der Kosten berücksichtigt, ist notwendig. Dieser wird im Kapitel 3.4 vorgestellt.

<sup>8</sup> Werte von verschiedenen, teilweise auch nicht realisierten Projekten sowie publizierte Planwerte. Falls notwendig, umgerechnete Daten der Quellen [Vor06], [Sch08], [ORF06], [Wir09], [SWU05], [Axp06], [Vah11].

Erwähnt sei in diesem ersten Vergleich, dass auch der Zeitpunkt des Baus eine beeinflussende Größe darstellt. Die tatsächlich erreichten Kosten von 650 €/kW des Vorzeigeprojekts Goldisthal sind nach Auskunft von Branchenexperten insbesondere auf die damalige Bauflaute und entsprechend gute Verhandlungsbedingungen zurückzuführen. Ein heutiger Planwert von einem Projekt wie Goldisthal wäre eher im Bereich von 1100 €/kW angesiedelt [Lay10]. In den letzten Jahren haben sich deutliche Verteuerungsraten von Kraftwerkskomponenten ergeben. Durch Verteuerungsverläufe<sup>9</sup> bei u.a. Transformatoren, Turbinen, Generatoren oder der Verkabelung wären dadurch heutige Projekte im Bereich des Kraftwerksbaus zu höheren Projekt- und Herstellungskosten zu realisieren [PWC09]. Als mittlerer Wert von PSW Projekten kann eine Größenordnung von 800 – 1200 €/kW als Orientierung dienen.

Das genannte untertägige Pumpspeicherprojekt Ritten, welches eher im höheren leistungsspezifischen Kostenbereich angesiedelt ist, war vom österreichischen Unternehmen Kelag in Italien in Planung. Angemerkt sei, dass im Gegensatz zu dem hier diskutierten Projekt nicht die Verbindung mit der Nachnutzung stillgelegter Bergwerke bestand. Es sollte die topographisch günstige Möglichkeit eines Berges genutzt werden, wobei man durch zwei horizontale Streckenauffahrungen den Zugang zum komplett untertägigen Pumpspeicherwerk herstellen wollte. Das in Europa einmalige Projekt wurde unter anderem aufgrund von politischen Hindernissen von der Kelag Ende 2009 eingestellt. Sowohl technisch als auch wirtschaftlich hatte sich das Projekt als durchführbar und interessant für das Unternehmen dargestellt [Kel10].

Nach diesem ersten Überblick soll die Vorgehensweise zur Bewertung eines untertägigen Pumpspeichwerks beschrieben werden. Anschließend erfährt der Bereich der Investitionskosten eines derartigen Projektes weitere Betrachtungen.

### **3.2 Vorgehensweise**

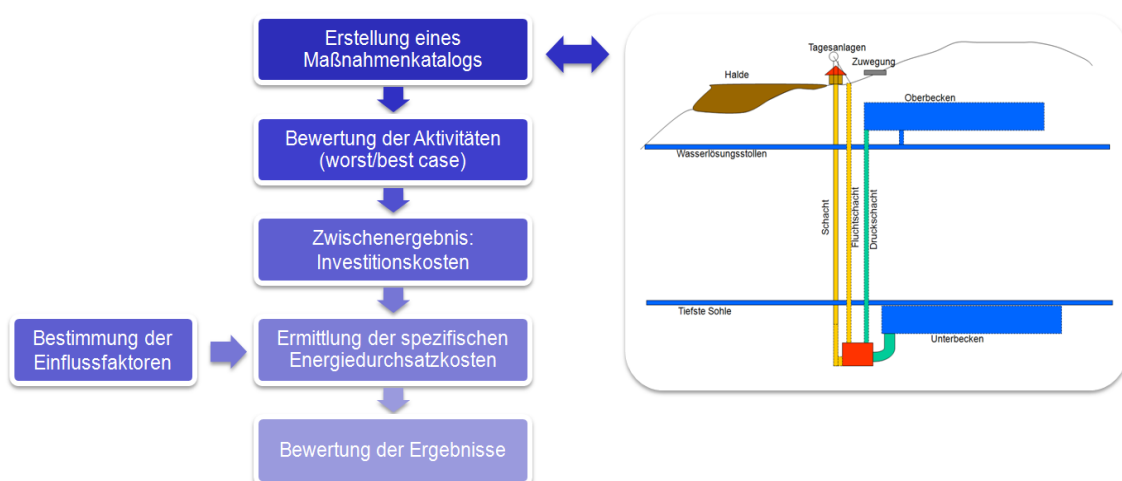
Bei der methodischen Herangehensweise sind zwei Möglichkeiten denkbar. Bei einem Top-Down Ansatz würden in einem ersten Schritt Referenzwerte von bestehenden Pumpspeicherwerken oder aktuellen Projektvorhaben ermittelt werden. Durch eine Expertenbefragung müssten Anpassungsfaktoren insbesondere hinsichtlich der Investitionskosten gefunden werden, die eine Abschätzung der Kosten eines untertägigen Pumpspei-

---

<sup>9</sup> Betrachtungszeitraum der Kostenanalyse von 2004 bis 2008.

cherwerks möglich machen. Da bislang kein derartiges Projekt realisiert wurde, erscheint es schwierig bis unmöglich, belastbare Zahlen durch diese Vorgehensweise zu erhalten.

Durch einen Bottom-up-Ansatz, welcher im Rahmen der Studie verfolgt wird, ist ebenfalls eine Möglichkeit gegeben, die Grundlage für die Bewertung eines Speicherkraftwerks zu schaffen, obgleich dieser Weg deutlich aufwendiger ist. In einem ersten Schritt wird ein Maßnahmenkatalog definiert, welcher alle Aktivitäten zur Errichtung eines Pumpspeicherkraftwerkes unter Tage umfasst. Als Beispiele sind die Schaffung einer für den Schwertransport geeigneten Zuwegung, das Entfernen von Betonplomben eines Bergwerkes bis hin zu Rekultivierungsmaßnahmen der entstehenden Halde zu nennen. Diese Maßnahmen bzw. Kostenpositionen sind jeweils zu bewerten. Aufgrund von Unwägbarkeiten oder auch durch die mögliche Verwendung unterschiedlicher Technologien werden die Aktivitäten zur Errichtung sowie die Komponenten des Pumpspeicherkraftwerkes in einem best und in einem worst case betrachtet. Der aggregierte Wert der Investitionskosten ist durch über 30 Angebote oder Gespräche bei Unternehmen, Behörden und Experten entstanden. Zusätzlich konnten durch Literaturrecherchen weitere Referenzwerte bestimmt und Kostenpositionen validiert werden.



**Abbildung 6** Vorgehensweise zur Bewertung eines untertägigen Pumpspeicherkraftwerks.

Zusammen mit den prognostizierten Investitionskosten (Kapitel 3.3) und weiteren Einflussfaktoren auf die Speicherkosten<sup>10</sup> (Kapitel 3.4) erfolgt die Ermittlung der spezifischen Energiedurchsatzkosten (Kapitel 3.5), bevor die Bewertung der Ergebnisse stattfindet.

<sup>10</sup> Als Synonym für die Energiedurchsatzkosten zu verstehen.

### **3.3 Investitionskosten eines untertägigen Pumpspeicherwerks**

#### **3.3.1 Allgemeine Betrachtungen**

Für die Errichtung eines untertägigen PSW sind Maßnahmen umzusetzen, welche in fünf Kategorien eingeteilt werden können. Die wesentlichen und berücksichtigten Punkte sind im Folgendem zusammengefasst in aller Kürze dargestellt.

#### **Untertagearbeiten / Bergbauliche Maßnahmen**

Die mögliche Speicherkapazität wird durch die Größe der Speicherbecken bestimmt, welche neu aufgefahren werden müssen. Um die Fließgeschwindigkeit relativ klein zu halten, wird für das Oberbecken- bzw. Unterbecken ein Streckensystem<sup>11</sup> vorgesehen. Hierfür wird in der wirtschaftlichen Bewertung die Technik des Bohrens und Sprengens inklusive dem Transport zur naheliegenden Halde angesetzt. Der Vorteil in dem vorgesehenen Konzept besteht unter anderem darin, dass sofern keine gebirgstechischen oder umweltrechtlichen Restriktionen bestehen, eine Vergrößerung der Beckengeometrie möglich ist. Die notwendige Maschinen- bzw. Trafokaverne ist ebenso neu zu errichten und möglichst wasserdicht auszuführen. Je nach Zustand der Bergwerke sind etwaige Sanierungen von nachzunutzenden Schächten und Strecken erforderlich. Der Druckschacht, mit Verbindung von Oberbecken zur Maschinenkaverne bzw. von dieser zum Unterbecken, ist neu zu schaffen. Für den oberwasserseitigen Triebwasserweg ist die Installation eines Druckrohres nötig. Insgesamt sind neben dem Druckschacht bis zu drei Schächte notwendig, wobei einer als „Hauptschacht“, ein zweiter als weitere Fluchtmöglichkeit und ein letzter zur Netzanbindung vorgesehen wird. Inwieweit Nachnutzungen von bestehender Infrastruktur unter Tage möglich sind, hängt vom Einzelfall ab. Auch muss bei einem bestehenden Schacht die Abwägung getroffen werden, ob eine etwaige nötige Sanierung und Instandsetzung eine Nachnutzung rechtfertigt. So gehören beispielsweise das Entfernen einer möglichen Betonplombe, das Entfernen aller Einstriche von der Spurführung und dem Fahrturm, die Wiederherstellung des Schachtes mit Ausbau sowie der Einbau einer neuen Spurführung zu kostenintensiven Maßnahmen einer Sanierung. Darüber hinaus besteht die Restriktion, dass die Geometrie für den neuen Zweck ausreicht. Weitere Zugangsstrecken, Zuleitungen oder Füllorte sind gemäß bergbaulicher Planungen zu berücksichtigen.

---

<sup>11</sup> Die genaue Ausgestaltung ist im Teilbericht Geomechanik zu finden.

Ein sogenanntes abgesoffenes Bergwerk muss gesümpft (trockengelegt) werden, was als eine weitere Maßnahme unter dem Punkt Untertagearbeiten resümiert wird. Das Abpumpen der Sumpfwässer durch geeignete Schwimmpumpen ist hier abzuleisten. Neben einem benötigten Zeitbedarf, der durch die anfallende Wassermenge in Kombination mit der Pumpleistung bestimmt wird, sind als Kostenelemente die Investition für eine geeignete Pumpe sowie Stromkosten zu nennen.

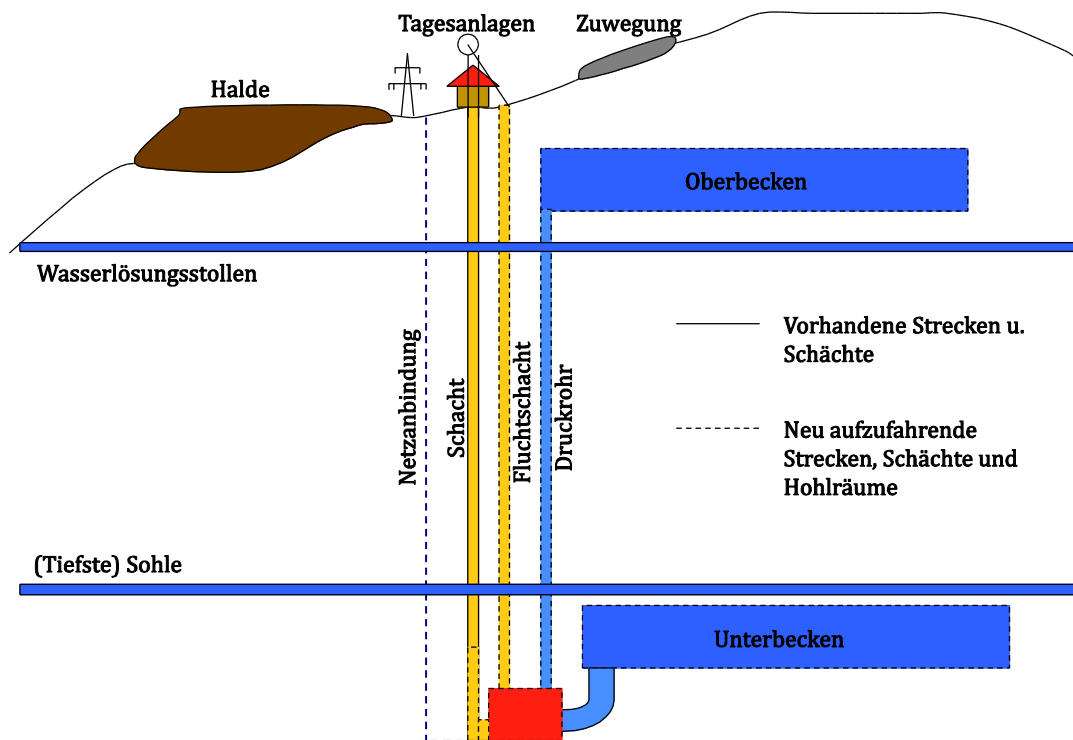
Für das anfallende Ausbruchmaterial, welches sich im Wesentlichen durch die Größe der Speicherkapazität inklusive einem Auflockerungsfaktor bestimmt, muss eine Aufhaldung oder zumindest temporäre Lagerung vorgesehen werden. Eine Weiterverwendung des Materials beispielsweise für den Straßenbau ist je nach Qualität oder auch Belastung des Aushubs für Ober- und Unterbauschichten prinzipiell möglich<sup>12</sup>, worin sich sogar eine Erlösmöglichkeit eröffnen könnte. Aufgrund der Unsicherheit hinsichtlich der genauen Zusammensetzung des Materials bzw. der zum relevanten Zeitpunkt regionalen Nachfrage geht dieser Aspekt nicht in die finanzielle Bewertung ein.

Schließlich sind Kosten für Genehmigungs- und Ausführungsplanungen zu veranschlagen. Aus diesen und den folgenden Überlegungen wurde eine Prinzipskizze entwickelt, welche die wesentlichen Punkte sehr vereinfacht darstellt.

---

<sup>12</sup> Dies wurde u.a. von der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr bestätigt.





**Abbildung 7** Konzept eines untertägigen Pumpspeicherwerks – Quelle: [Lam11], bearbeitet.

## Maschinentechnik

In der Maschinenkaverne sind die hydraulischen Maschinen mit der Pumpe, der Turbine sowie dem Wandler unterzubringen. Des Weiteren müssen finanzielle Mittel aufgewendet werden, um die elektrische Maschine (Motor/Generator inkl. Erregung) zu beschaffen. Auch der Turbinenregler und die Automatisierung, weitere mechanische Nebensysteme sowie die Montage und Inbetriebsetzung sind zu berücksichtigende Kostenpositionen. Für die Bau- aber auch Betriebszeit ist in der Kaverne ein den Anforderungen entsprechend dimensionierter Kran zu installieren.

Die Schächte müssen mit einer für den Einsatzzweck dimensionierten maschinellen Ausrüstung ausgestattet werden. Zu beachten ist, dass die Schachtausrüstung besonderen Anforderungen insbesondere hinsichtlich der Gewichtsbelastung standhalten muss. Als Einflussgröße ist der schwerste zu transportierende Gegenstand entscheidend, wobei beispielsweise für den Hauptschacht die Maschinenteile die Obergrenze vorgeben. Für den Transport der Gegenstände muss ein Gewicht von bis zu 50 t getragen werden können. Zu der weiteren maschinentechnischen Ausrüstung gehören das Schachtgerüst, die Hilfsfahranlage mit -haspel sowie benötigte Sonderkonstruktionen.

## **Netzanbindung/E-Technik**

Zur Übertragung der Energie ist eine Verbindung zwischen Pumpspeicherwerk, genauer gesagt Maschinenkaverne, und dem bestehenden Hochspannungsnetz inklusive dem Anschluss im Umspannwerk zu schaffen. Gemäß einer Trassierungsplanung sind grundsätzlich drei Varianten des notwendigen Netzausbaus denkbar. Dabei sind die Möglichkeiten des Freileitungsbaus, der Teilverkabelung sowie eine reine Verwendung eines Erdkabels möglich<sup>13</sup>, wobei von den standortspezifischen Varianten die günstigste in den wirtschaftlichen best case und die kostenintensivste als worst case eingeht. Der Transformator sowie die temporäre Mittelspannungsversorgung während der Bauzeit sind ebenfalls zu berücksichtigen. Eine Leitwarte wird vor Ort und über Tage zu errichten sein, um eine Steuerung des Kraftwerks zu ermöglichen.

## **Infrastruktur / Obertägige Anlagen**

Für einen nachgenutzten Bergwerksstandort ist eine Errichtung bzw. Sanierung von Zufahrtswegen nötig, wobei ein Schwerlasttransport auf den Strecken möglich sein muss. Auch wenn der Oberflächenverbrauch bei einem untertägigen Pumpspeicherwerk vergleichsweise gering ist, ist ein Gebäudebestand über Tage nötig. Je nach Standort können ggf. bestehende Gebäude nach einer Sanierung nachgenutzt werden. Andernfalls ist eine Neuerrichtung der folgenden Punkte nötig.

- Gebäude für die Kraftwerksleitwarte
- Büro- und Sozialräume
- ein Maschinenhaus für elektrische Anlagen
- ggf. ein Informationszentrum

Für den Fall, dass Ausbruchmaterial vor Ort gelagert wird, ist ebenso eine Rekultivierung der Halde zu beachten, um die Lebensräume für Pflanzen und Tiere sowie ein entsprechendes Landschaftsbild wiederherzustellen.

## **Sonstige Kosten**

An dieser Stelle werden weitere Genehmigungskosten sowie Kosten für die Umweltverträglichkeitsprüfung veranschlagt. Es fallen weitere Planungskosten und ein Kosten-

---

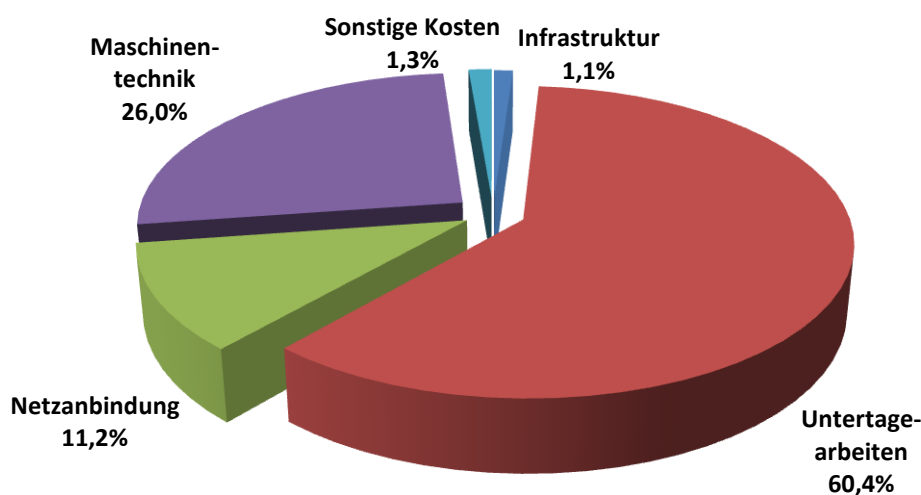
<sup>13</sup> Die standortspezifischen Planungen sind dem Teilbericht Markscheidewesen zu entnehmen.

schätzwert aufgrund der Wasserreinigung<sup>14</sup> an. Eine etwaige Aufbereitung bei Sauerwasser und/oder Schwermetallen, falls das Wasser nicht als Betriebswasser genutzt werden kann und in Oberflächengewässer eingeleitet werden muss, ist zu bedenken. Auch Kosten bezüglich des Aspekts „Öffentlichkeitsarbeit/Kommunikation“ sind mit einem Schätzwert berücksichtigt.

Die standortspezifischen Ergebnisse der Modellbergwerke Grund sowie Pöhla sind unter Berücksichtigung der alten Grubengebäude und obertägigen Situation in den folgenden beiden Kapiteln dargestellt.

### 3.3.2 Modellbergwerk Grund

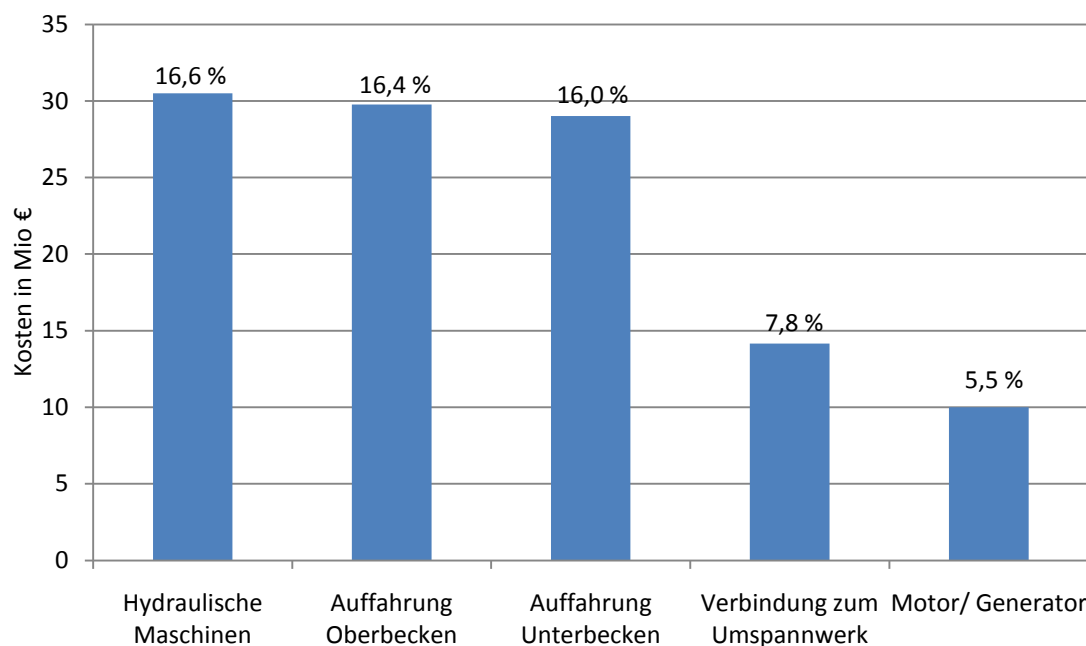
Das ermittelte Investitionsvolumen als Zwischenergebnis des exemplarisch betrachteten Pumpspeicherwerks am Standort Bad Grund liegt in der größeren Kapazitätsvariante mit 400 MWh nach den Recherchen und Berechnungen bei 1.816 €/kW. Der Wert ist als einfaches arithmetisches Mittel der beiden ermittelten Extremszenarien von 1.654 €/kW und 1.978 €/kW zu verstehen. Demnach liegt der absolute Wert des Investitionsvolumens im Mittel bei 181,6 Mio € bei einer installierten Leistung von 100 MW. Ein Überblick von den Kostengruppen und deren relativen Anteile am Gesamtinvestitionsvolumen ist in der folgenden Abbildung 8 gegeben.



**Abbildung 8** Kostengruppen und -anteile an der Gesamtinvestition am Standort Bad Grund, 400 MWh Variante am Standort Bad Grund.

<sup>14</sup> Näheres hierzu ist bei den standortspezifischen Ausführungen und in Kapitel 3.7 sowie im Teilbericht Umwelt zu finden.

Der größte Bereich umfasst mit rund sechzig Prozent der Gesamtkosten die untertägigen Arbeiten. Hier sind kostenintensive Maßnahmen, wie im Kapitel 3.3.1 erläutert, enthalten. Gefolgt ist der Bereich der Auffahrungen von Strecken oder Teufen von Schächten von dem der Maschinentechnik, welcher gut ein Viertel der Gesamtinvestitionen ausmacht. Eine eher nahe Verbindungsmöglichkeit zum nächsten Anschlusspunkt bzw. Umspannwerk trägt dazu bei, dass die Kosten der Netzanbindung bei nur 11,2% liegen. Die sonstigen Kosten sowie der Aufwand für die Infrastruktur fallen mit einem relativen Anteil von 2,4% klein aus.



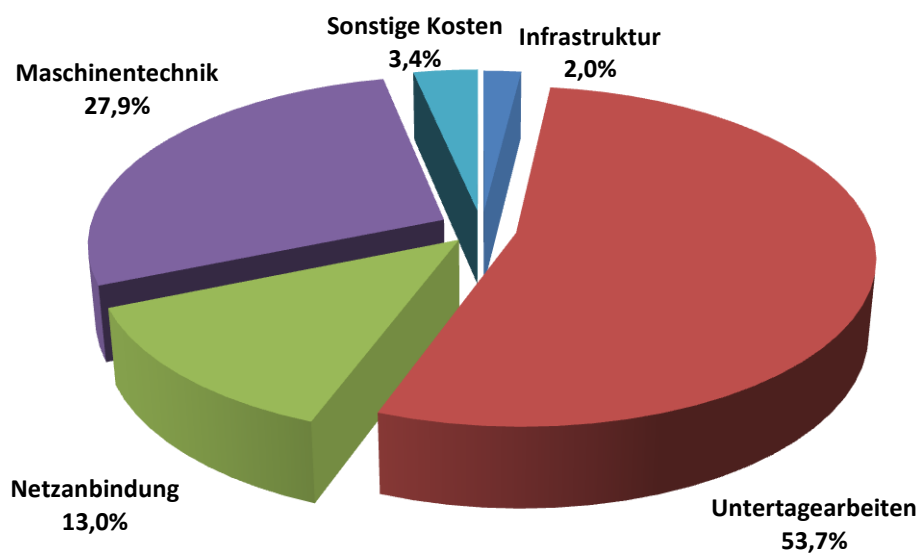
**Abbildung 9** Kosten mit dem größten Anteil an der Gesamtinvestition bei der Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerks, 400 MWh Variante am Standort Bad Grund.

Der größte Kostentreiber ist der wesentliche Teil der Maschinentechnik mit den Komponenten Pumpe, Turbine und Wandler. Gefolgt hiervon ist die Auffahrung der Becken mit insgesamt knapp einem Drittel der Kosten zu nennen. Das Oberbecken hat einen etwas höheren Anteil, da die Zugangsstrecke länger ausfällt, als diejenige, die beim Unterbecken nötig ist. Insgesamt machen die ersten drei erwähnten Positionen ca. die Hälfte der Gesamtkosten aus. Neben den Kosten der Netzanbindung mit 7,8% ist als letzter dargestellter Balken der Motor bzw. Generator aufgelistet. Als Besonderheit beim Standort Bad Grund ist anzumerken, dass auf dem Betriebsgelände noch Gebäude vorhanden sind, die zur Nachnutzung geeignet sind.

Bei Betrachtung der 200 MWh Variante werden Kostenreduktionen durch eine geringe Streckenlänge im Ober- und Unterbecken realisiert. Es ergeben sich spezifische Leistungswerte von 1.380 €/kW bis 1.704 €/kW, wobei sich ein Mittelwert in Höhe von 1.542 €/kW einstellt. Dies bedeutet, dass die Auslegung mit einer kleineren Kapazität eine Verringerung der spezifischen Investitionskosten von rund 15% nach sich zieht.

### 3.3.3 Modellbergwerk Pöhla

Das ermittelte Investitionsvolumen eines Pumpspeicherwerks am Standort Pöhla wird im Bereich von 1.994 €/kW bis 2.179 €/kW prognostiziert. Im Mittel ist daher für die 400 MWh Variante ein Wert von 2.086 €/kW zu erwarten. Analog zu den obigen Ausführungen sind in der folgenden Darstellung die relativen Anteile der Kostengruppen dargestellt. Während eine ähnliche Struktur zu erkennen ist, werden genauere Unterschiede insbesondere in Abschnitt 3.7 diskutiert.



**Abbildung 10** Kostengruppen und -anteile an der Gesamtinvestition am Standort Pöhla, 400 MWh Variante am Standort Pöhla.

Vergleichend zu den Ausführungen der 400 MWh Variante ergibt sich die Version mit der kleineren Kapazität analog zu dem Standort Bad Grund zu günstigeren Investitionskosten. Es ist mit spezifischen Leistungswerten von 1.669 €/kW bis 1.797 €/kW zu rechnen, wobei sich ein Mittelwert in Höhe von 1.733 €/kW einstellt. Das Szenario mit der kleineren Kapazität hat demnach eine 17%ige Reduzierung der Kosten zur Folge.

Einige Besonderheiten und Herausforderungen, die sich durch die Planung eines untertägigen Pumpspeicherwerks am Standort Pöhla ergeben, sind bereits hier zusammengefasst.

Eine Besonderheit, die gleichzeitig als kritischer Aspekt im Zusammenhang mit dem Potenzial einer Errichtung eines PSWuT am Standort Pöhla gesehen werden muss, ist die Wasserbehandlung. Die Forderungen nach einer hohen Wasserqualität und die geltenden gesetzlichen Grenzwerte erlauben es bei der Trockenlegung des Bergwerks nicht, das Wasser unbehandelt in die Umwelt zu entlassen. Aktuell wird für die Behandlung von Wässern der gefluteten Grube Pöhla seit 2005 eine passiv-biologische Anlage mit nachgeschaltetem Festbettreaktor betrieben. Das Verfahren ist durch einen großen Flächenbedarf und mit einem eher geringen Wassermengendurchsatz gekennzeichnet. Die maximale Behandlungskapazität<sup>15</sup> ist mit 20 m<sup>3</sup>/h angegeben. Die zu entfernenden Hauptschadstoffe sind Radium, Arsen und Eisen [Wis11/1]. Für die Zwecke eines PSWuT wäre eine derartige Anlage insbesondere hinsichtlich der Trockenlegung des Bergwerks nicht ausreichend. In diesem Zuge ist auch die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Rückstände der Gewässerreinigung ein problematischer Punkt. Dass die bisherige Praxis, die Rückstände im Bergwerk lagern zu dürfen, bei höherem Ausmaße weiterverfolgt werden darf, ist offen (vgl. Teilbericht Umwelt). Eine belastbare Kostenschätzung zu dieser gesamten Problematik konnte im Rahmen dieser Studie und auch vom aktuellen Betreiber nicht bereitgestellt werden. Die offiziellen Angaben sind lediglich, dass diese Anlage nur „einen geringen Aufwand für Wartung und Überwachung“ verlangt [BMW07]. Andererseits liegen Informationen vor, dass offensichtlich aus Kostengründen ein Rückbau der aktuellen Wasserbehandlungsanlage (WBA) vorgesehen ist bzw. ein Ersatz durch eine konventionelle in Planung ist [Wis11/2]. Vorsorglich wurden die bestmöglich recherchierbaren Kostendaten für zwei WBA sowie Kosten für die Reinigung des Wassers mitberücksichtigt.

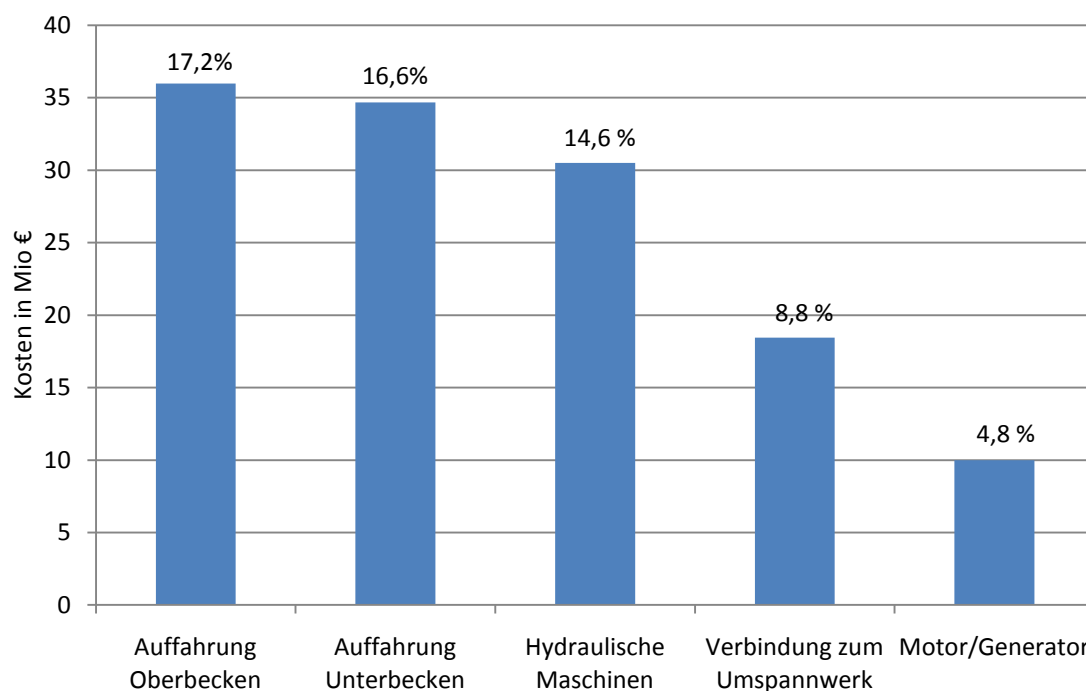
Als kostenintensiver Aspekt stellt sich die gebrochene Förderung heraus. Damit wird der Aspekt angesprochen, dass keiner der genutzten Schächte sogenannte Tagesschächte sind, also saiger (senkrecht) bis an die Erdoberfläche reichen. Die Logistik am Standort Pöhla beeinflusst damit die Betrachtungen mit höherem Aufwand und Zeitbedarf. Es ist zu bemerken, dass das anvisierte Förderungssystem (vgl. Teilbericht Bergbau) aus wirtschaftlicher Sicht eher kritisch beurteilt werden muss. Wenn das Fassungsvermögen eines Förderwagens in der Größenordnung von 4 x 0,63 m<sup>3</sup> angestrebt wird, werden in Relation

---

<sup>15</sup> Bei anderen Wasserbehandlungsanlagen sind Werte bis zu 1150 m<sup>3</sup>/h möglich.

zum abzufördernden Haufwerk von bis zu 517.950 m<sup>3</sup> die Dimensionen deutlich<sup>16</sup>. Nicht zuletzt wegen den angesprochenen Herausforderungen weist [Dei11] darauf hin, dass die Möglichkeit das Haufwerk oder zumindest Teile davon unter Tage zu lagern, eine weiter zu prüfende Variante darstellt.

Abseits der eben angesprochenen Punkte sind die fünf größten Kostentreiber – in geänderter Reihenfolge – die gleichen.



**Abbildung 11** Kosten mit dem größten Anteil an der Gesamtinvestition bei der Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerks, 400 MWh Variante am Standort Pöhla.

Zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass aufgrund des härteren Gebirges etwas höhere spezifische Kosten der Auffahrungen angesetzt werden. Absolut erhöhen sich ebenfalls die Kosten, da aufgrund der geringeren Fallhöhe mehr Speicherstrecken aufgefahren werden müssen, um die gleiche Energiemenge bereitstellen zu können. Aus naturschutzrechtlichen Einschränkungen und dem Grundsatz, dass der kürzeste Trassenverlauf angestrebt werden soll, reduzieren sich die theoretisch denkbaren Netzanbindungsvarianten auf lediglich eine, welche wiederum nicht als durchgehende Freileitung geplant werden kann

<sup>16</sup> Als überschlägige Größenordnung zu verstehen; anvisiertes Gesamtvolumen eines Beckens in Höhe von 345.300 m<sup>3</sup> multipliziert mit einem Auflockerungsfaktor von 1,5.

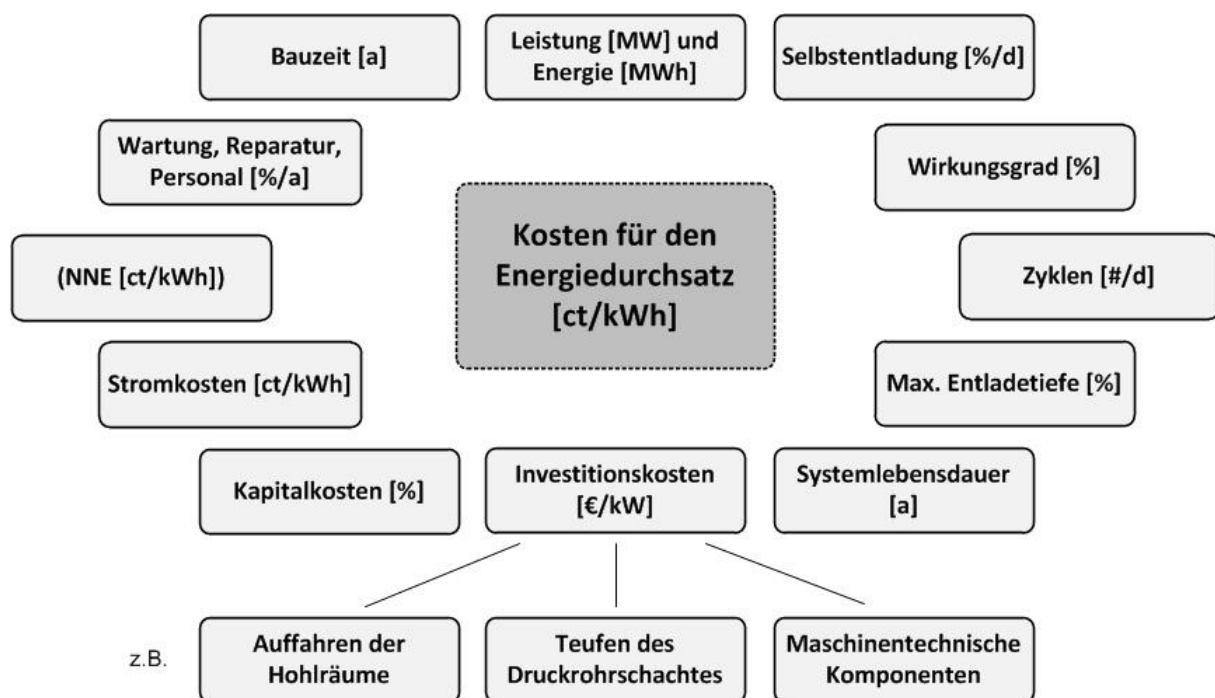


[vgl. Teilbericht Markscheidewesen]. Es wird eine Teilverkabelungsvariante von 30 km Länge berücksichtigt.

Weitere Anmerkungen und Hintergründe, wodurch Unterschiede in den Standorten resultieren, sind in Kapitel 3.7 zu finden.

### 3.4 Einflussfaktoren auf die Energiedurchsatzkosten

Auf die Speicherkosten für den Energiedurchsatz wirken neben der Höhe der Investitionskosten diverse weitere Einflussfaktoren, die es zu identifizieren und zu bewerten gilt. In Abbildung 10 sind die wesentlichen und bei der weiteren Betrachtung berücksichtigten Parameter aufgeführt, welche nachfolgend näher erläutert werden.



**Abbildung 12** Einflussfaktoren auf die Energiedurchsatzkosten – Quelle: Eigene Darstellung nach [ETG09], [Gie09].

#### Leistung und Energie

Hierbei handelt es sich um grundsätzliche Auslegungsfragen des Pumpspeicherwerkes. Um den Projektteilnehmern ein Auslegungsszenario für das Modellbergwerk vorzugeben, besteht die Restriktion für das Institut für Wirtschaftswissenschaft den Referenzfall eines 100 MW Pumpspeicherwerkes mit einer Entladedauer von 2 sowie 4 Stunden und somit eine Kapazität von 200 bzw. 400 MWh zu betrachten.

## **Selbstentladung**

Während man bei konventionellen Pumpspeicherwerken Effekte wie Verdunstung (positive Selbstentladung) oder Niederschlag (negative Selbstentladung) berücksichtigt, ergibt sich bei der untertägigen Variante eine andere Sachlage. Beim Oberbecken kann ein Gleichgewicht des Wasserhaushaltes durch Wassereintritt und -austritt in gleicher Größenordnung angenommen werden. Beim Unterbecken ist demgegenüber mit einem „Wasserüberschuss“ zu rechnen. Auf der Höhe des bereits unter dem Wasserspiegel liegenden Unterbeckens ist durch die „Sättigung“ kein Wasseraustritt zu erwarten. Damit ergibt sich der Effekt, dass das zulaufende Wasser im Unterbecken durch zusätzliches Pumpen kompensiert werden muss, wodurch Kosten entstehen. Auch wenn dieser Beitrag nach den bisherigen Recherchen eher marginal im Verhältnis zum Gesamtvolumen zu beurteilen ist, wird ein mittlerer Wasserverlust durch einen Entladungsfaktor als Quotient der Entladung pro Tag zu dem Volumen berücksichtigt.

## **Wirkungsgrad**

Ein hoher Wirkungsgrad stellt eine wesentliche Anforderung an eine Speichertechnologie dar. Die Konsequenzen eines Wirkungsgrades kleiner eins bedeuten neben dem Verlust von bezogener elektrischer Energie, dass Kosten zur Kompensation der Verluste entstehen. Ein Betrieb kann allerdings durch unterschiedlich hohe Preise im Energiehandel lohnenswert sein. Um den Speicher aufzufüllen, muss demnach mehr Energie aufgewendet werden, als ihm entnommen werden kann. Berücksichtigt werden die Wirkungsgrade der Pumpe, der Turbine, des Generators bzw. Motors, des Transformators, der Netzanbindung sowie die Verluste des Wasserweges durch Reibung in den Rohren.

## **Zyklen**

Während andere Speichertechnologien durch die Zyklenhäufigkeit Lebensdauereinbußen hinnehmen müssen, gilt diese Einschränkung für Pumpspeicherwerke – auch für die untertägige Variante – nicht. Wie viele (Voll-)Zyklen ein Speicherkraftwerk fährt, wirkt bei gegebener Entladedauer direkt auf die Energiemenge, die dem Netz bereitgestellt werden kann. Die Kosten sind demnach bei einer höheren Zyklenzahl auf eine größere Energiemenge verteilbar. Im Umkehrschluss kann ein Speicher für den längerfristigen Ausgleich von fluktuierender erneuerbarer Energie seltener einen Beitrag zur Kostendeckung ermöglichen.

## **Maximale Entladetiefe**

Bei dem Ober- bzw. Unterbecken ist eine maximale Entladetiefe<sup>17</sup> einzuhalten. Nach Vorgaben des Instituts für Bergbau kann nicht der gesamte aufzufahrende Hohlraum genutzt werden. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die untertägigen Hohlräume ca. 22 - 27 % größer als das nutzbare Volumen dimensioniert werden müssen.

## **Systemlebensdauer**

Wasserkraftanlagen zeichnet eine sehr lange Lebensdauer aus. Im Gegensatz zu Batterietechnologien, wie die Bleibatterie mit einer Lebensdauer von 6 - 12 Jahren und einer hohen Abhängigkeit der Zyklenzahl [ETG09], kann die hier diskutierte Speicherart mehrere Jahrzehnte im Einsatz sein. Erfahrungen mit Wasserkraftanlagen beweisen deren Nutzung auch über ein Jahrhundert hinaus [Gie09]. Für die Systemlebensdauer, als wirtschaftlich und technisch betrachtete Nutzungsdauer, sollte hier aber ein kürzerer Zeitraum gewählt werden. Aus den Gründen, dass der Projektpartner Voith nach 40 Jahren eine Komplettzerlegung der Maschinentechnik vorsieht und auch in Anlehnung an [ETG09] wird mit einer mittleren Systemlebensdauer von 40 Jahren gerechnet. Nach dieser Zeit müsste man sich der Investitionsentscheidung stellen, ob eine Generalüberholung und weitere notwendige Arbeiten einen Weiterbetrieb unter den dann geltenden Rahmenbedingungen rechtfertigen.

## **Investitionskosten**

Erläuterungen zu diesem Aspekt sind bereits im Kapitel 3.3.1 bis 3.3.3 erfolgt.

## **Kapitalkosten**

Für Investitionen im Energiebereich ist es üblich, inflationsbereinigte Betrachtungen durchzuführen [Kon09]. Um den realen Zinssatz zu bestimmen, muss der Nominalzins  $r_n$  um die Inflationsrate  $\pi$  bereinigt werden. Vereinfacht kann dies durch eine Subtraktion erfolgen:

$$r_r \approx r_n - \pi$$

Für den Referenzfall wird ein realer Zinssatz von 8 % angesetzt. Variationen hiervon werden in der Sensitivitätsanalyse in Kapitel 3.6 dargestellt.

---

<sup>17</sup> Depth of Discharge (DOD)

## **Stromkosten**

Die Stromkosten in ct/kWh sind als Einflussgröße zur Bewertung der anfallenden Verluste des Kraftwerks zu verstehen und nicht als die eigentlichen Strombezugskosten. Der Definition der Energiedurchsatzkosten zufolge sind diese in der Differenz zwischen Verkaufs- und Einkaufspreis mindestens zu erwirtschaften. Der verwendete Wert der Stromkosten orientiert sich dabei am Durchschnittspreis (Baseload) in 2009 an der European Energy Exchange (EEX) in Leipzig und wird im Referenzfall mit 4 ct/kWh angenommen [EEX/1].

## **Netznutzungsentgelte**

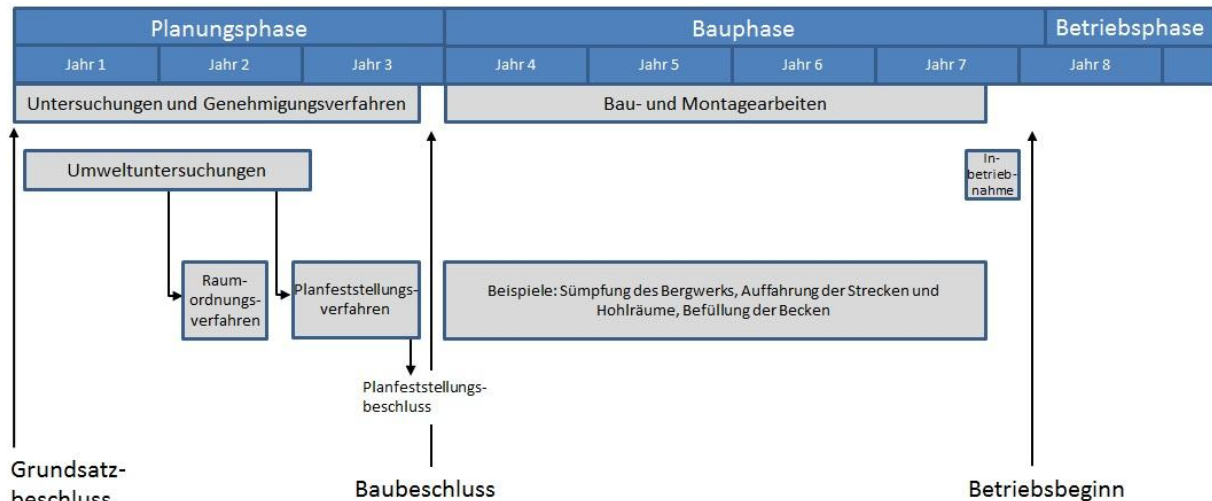
Seit Beginn 2008 gilt, dass die Betreiber von Pumpspeicherwerken Netznutzungsentgelte für den Speicherstrombezug zu zahlen haben [Den08]. Hintergrund ist, dass man Pumpspeicherwerke mit Letztverbrauchern gleichstellen wollte, die für den bezogenen Strom Netznutzungsentgelte an den Netzbetreiber zahlen müssen. Der Gesetzgeber hat sich in § 118 (7) EnWG allerdings mit folgender Regelung dazu bekannt, Speichertechnologien vorerst nicht zusätzlich zu belasten. Anlagen zur Speicherung elektrischer Energie, die nach dem 31. Dezember 2008 errichtet werden und bis zum 31. Dezember 2019 in Betrieb gehen, sind „für einen Zeitraum von zehn Jahren ab Inbetriebnahme hinsichtlich des Bezugs der zu speichernden elektrischen Energie von den Entgelten für den Netzzugang freigestellt“. Wie bereits angesprochen, sind die eigentlichen Strombezugskosten nicht Teil der Energiedurchsatzkosten. Für den im Betrieb benötigten Strom wird für die durchgeführte Kostenabschätzung wie oben angesprochen ein Durchschnittswert verwendet und dieser zusätzlich hinsichtlich der Sensitivität untersucht. Der direkte Einfluss der Netznutzungsentgelte wird für die Betrachtung aus den genannten Gründen nicht explizit untersucht, obgleich für einen tatsächlichen Betrieb und ein marktgesteuertes Verhalten dieser Effekt auf die Wirtschaftlichkeit wie in [Den08] umfangreich beschrieben, Auswirkungen hat.

## **Wartung, Reparatur, Personal**

Unter diesen Aspekt fallen Kosten der Betriebsführung wie beispielsweise Materialaufwendungen, Kontrollen durch Sachverständige oder Sanierungsmaßnahmen. Zudem entsteht durch die Überwachung und den Betrieb der Anlage durch eine sogenannte Schachtbelegung ein Personalaufwand, der als wesentlicher Treiber gesehen wird.

## Bauzeit

Um zum einen den Zeitpunkt eines möglichen Markteintritts zu bestimmen und zum anderen Aussagen über die investitionsintensive Dauer der Bauzeit geben zu können, soll eine erste Einschätzung zum Errichtungsablauf eines untertägigen Pumpspeicherwerks getroffen werden. Ein möglicher Ablauf ist im Folgenden grafisch dargestellt.



**Abbildung 13** Zeitplan einer PSWuT Errichtung<sup>18</sup>.

Nach dem Grundsatzbeschluss, ein entsprechendes Projekt umsetzen zu wollen, beginnt die Planungsphase, welche von Umweltuntersuchungen sowie Genehmigungsverfahren gekennzeichnet ist. Im Falle eines Neubaus einer Freileitungstrasse ist es wahrscheinlich, dass ein Raumordnungsverfahren notwendig ist<sup>19</sup>. Ebenso ist ein Planfeststellungsverfahren nötig, welches sich über ein Zeitfenster von 0,5 bis 2 Jahren erstrecken kann [Lam11]. Bei Erteilung der notwendigen Genehmigungen und zum Abschluss der Phase, würde sich ein Baubeschluss anschließen, welcher gleichzeitig die Bauphase einleitet. Die rund vier Jahre werden maßgeblich durch die Errichtung der Hohlräume bestimmt und sind damit stark abhängig von der Kapazität des Pumpspeicherwerks<sup>20</sup>. Die weiteren genannten Beispiele spielen im Gegensatz dazu eine deutlich untergeordnete Rolle. Sowohl das

<sup>18</sup> Die Ausführungen orientieren sich am Standort Bad Grund.

<sup>19</sup> Weitere Informationen sind im Teilbericht Recht zu finden.

<sup>20</sup> Im Beispiel ergeben sich die 4 Jahre durch die angenommene Anlagenkonfiguration in der 400 MWh Variante sowie einer Vortriebsleistung von 9 m/Tag. Weitere Bauaktivitäten sind im Wesentlichen parallel zur Auffahrung der Becken zu leisten und fordern damit keinen bedeutenden zusätzlichen Zeitbedarf.

Sümpfen (Trockenlegung) des Bergwerks<sup>21</sup> mit gängigen Pumpenleistungen als auch die Befüllung der Becken sind relativ schnell umzusetzen.<sup>22</sup> Nach der Durchführung der Inbetriebnahme kann das Pumpspeicherwerk nach insgesamt 7 Jahren Errichtungszeit den energiewirtschaftlichen Betrieb aufnehmen.

Es existieren Beispiele von obertägigen Pumpspeicherwerken, die in den 20iger und 30iger Jahren des letzten Jahrhunderts errichtet wurden und noch heute in Betrieb sind. Bei einer Entscheidung zur Stilllegung des Kraftwerks nach Ablauf der genehmigten Betriebszeit wegen technischer, wirtschaftlicher oder gesetzlicher Gründe würde die Nachsorgephase folgen. Darin erfolgt „die Sicherung, Verwertung bzw. Entsorgung der Komponenten entsprechend den zu diesem Zeitpunkt gültigen gesetzlichen Grundlagen“ [Ver08].

### **3.5 Bewertung eines untertägigen Pumpspeicherwerks**

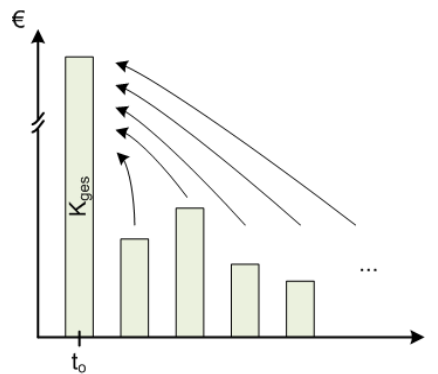
Die Basis der Bewertung erfolgt mit einem Verfahren der klassischen, dynamischen Investitionsrechnung, der Annuitätenmethode mit Orientierung der Kapitel 3.5 und 3.6 an [Sau09/2] und [Kon09]. Da eine reine Kostenbetrachtung erfolgt, ist der Zielwert die Ermittlung einer spezifischen Kostengröße, die hier als Energiedurchsatzkosten oder auch Speicherkosten bezeichnet werden.

Die anfallenden Kosten in der Zeit der Systemlebensdauer werden dabei auf den Zeitpunkt  $t = t_0$  finanzmathematisch projiziert.

---

<sup>21</sup> Bei Annahme von 500.000 m<sup>3</sup> herauszupumpenden Wassers und einer Pumpenleistung von 200 m<sup>3</sup>/h ist ein Zeitbedarf von 2.500 Stunden oder 104 Tagen nötig, wobei bereits teilweise parallel hierzu andere Arbeiten durchgeführt werden können.

<sup>22</sup> Im Modellbergwerk Bad Grund ist durch den Ernst-August-Stollen ein Wasserfluss zwischen 5 und 25 m<sup>3</sup>/min gegeben. Bei Annahme eines Durchschnittswertes von 15 m<sup>3</sup>/min und einer möglichen Entnahme zur Befüllung von 10 m<sup>3</sup>/min, ergibt sich ein Zeitbedarf von 22 Tagen.



**Abbildung 14** Schematische Darstellung zur Bestimmung des Barwerts.

Die laufenden Kosten  $K_{laufend}$  setzen sich zum einen aus den Wartungs- und Reparaturkosten<sup>23</sup>  $k_{OM}$ , den Personalkosten  $k_{personal}$  sowie aus den Versicherungskosten  $k_{versicherung}$  zusammen, die als Anteil der Gesamtinvestitionen  $K_{Invest}$  jährlich anfallen.

$$K_{laufend,t} = \frac{1}{(1+r)^t} \cdot (k_{OM}[\%/a] + k_{personal}[\%/a] + k_{versicherung}[\%/a]) \cdot K_{Invest}[\text{€}]$$

Des Weiteren entstehen Verluste, die durch den Einkauf von Energie zu  $k_{Strom}$  kompensiert werden müssen. Hierzu werden Wirkungsgrad- und Selbstentladungsverluste über  $\eta_{Zyklus}$  bzw. über  $q$  berücksichtigt<sup>24</sup>. Während die dem Netz bereitgestellte Energie als Parameter  $E_{Netz}$  bezeichnet wird, ist  $E_{inst.}$  als installierte Energiemenge im Oberbecken zu verstehen. Der Zykluswirkungsgrad  $\eta_{Zyklus}$  setzt sich aus der Multiplikation des Lade- und Entladewirkungsgrads zusammen.

$$K_{Verluste,t} = \frac{1}{(1+r)^t} \cdot 360 \left[ \frac{d}{a} \right] \cdot k_{Strom} \left[ \frac{ct}{kWh} \right] \cdot \left[ E_{Netz}[kWh] \cdot \left( \frac{1}{\eta_{Zyklus}} - 1 \right) \cdot n[\text{Zyklen}/d] + E_{inst.}[kWh] \cdot q \left[ \frac{\%}{d} \right] \left( \frac{1}{\eta_{Laden}} \right) \right]$$

mit

<sup>23</sup> Operation/Maintenance (OM)

<sup>24</sup> In den Betrachtungen wird von einer Betriebszeit von 360 Tagen pro Jahr ausgegangen, da eine gewisse Nichtverfügbarkeit bei jeder technischen Einrichtung existiert. Es wird pauschal von einer Arbeitswoche (5 Tage) ausgegangen, in denen durch den Ausfall der Maschinen oder Netzzusammenbrüche sowie durch Reparatur- und Revisionsarbeiten die Leistungsfähigkeit des PSW beeinträchtigt bzw. die Energieabgabe nicht möglich ist. Beispielsweise zeigen langjährige Erhebungen bei Laufwasserkraftwerken in Deutschland eine „Arbeits-Nichtverfügbarkeit“ von ca. 1 % [Gie09].

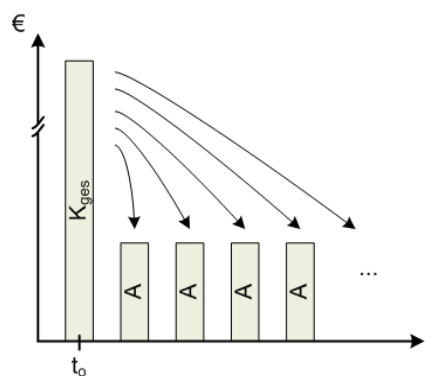


$$\eta_{\text{Zyklus}} = \eta_{\text{Laden}} \cdot \eta_{\text{Entladen}}$$

Die Gesamtkosten des Systems  $K_{\text{ges}}$  ergeben sich aus der Summation der Kosten über die Laufzeit und den ermittelten Investitionskosten.

$$K_{\text{ges}} = \sum_{t=1}^T (K_{\text{Verluste},t} + K_{\text{laufend},t}) + K_{\text{Invest}}$$

Das Ergebnis ist der Barwert, der den Gegenwartswert der zukünftigen Zahlungen repräsentiert. Diese Größe wird mithilfe des Annuitätenfaktors auf die Systemlebensdauer  $T$  gleichmäßig verteilt.



**Abbildung 15** Schematische Darstellung zur Bestimmung der Annuitäten.

Mathematisch wird die jährliche Rate an Auszahlungen  $A$  durch Multiplikation des Barwerts mit dem Annuitätenfaktor in folgender Gleichung bestimmt.

$$A = K_{\text{ges}} \cdot \frac{r \cdot (1 + r)^t}{(1 + r)^t - 1}$$

In einem letzten Schritt sind die Energiedurchsatzkosten zu ermitteln, in dem die Annuität auf die tatsächlich abgegebene Jahresenergiemenge bezogen wird.

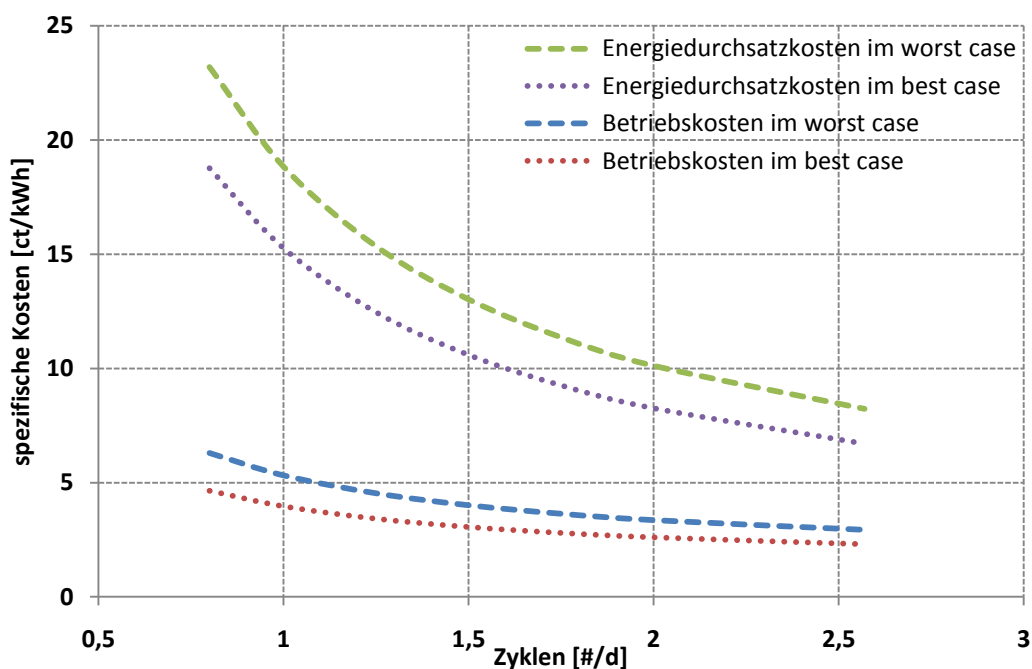
$$k_{\text{ges}} \left[ \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} \right] = \frac{A \left[ \frac{\text{€}}{\text{a}} \right] \cdot \frac{100 \text{ct}}{\text{€}}}{360 \left[ \frac{\text{d}}{\text{a}} \right] \cdot E_{\text{Netz}} [\text{kWh}] \cdot n \left[ \frac{1}{\text{d}} \right]}$$

Als Ergebnis werden Energiedurchsatzkosten für einen worst und einen best case ausgegeben, um diesem Investitionsprojekt unter Unsicherheit zu begegnen. Analog können beispielsweise die Betriebskosten, hier verstanden als Summe der laufenden Kosten sowie Verlustkosten, als spezifische Größe  $k_{\text{Betrieb}}$  berechnet werden.

$$k_{\text{Betrieb}} \left[ \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\left[ \sum_{t=1}^T (K_{\text{Verluste},t} + K_{\text{laufend},t}) \right] \cdot \frac{r \cdot (1+r)^t}{(1+r)^t - 1} \cdot \frac{100 \text{ct}}{\text{€}}}{360 \left[ \frac{\text{d}}{\text{a}} \right] \cdot E_{\text{Netz}} [\text{kWh}] \cdot n \left[ \frac{1}{\text{d}} \right]}$$

### 3.5.1 Modellbergwerk Grund

Der zu betrachtende Fall eines untertägigen Pumpspeicherwerks mit einer Kapazität von 400 MWh soll veranschaulicht werden. Die Speicherkosten sind hierzu als Funktion der Zyklenzahl im worst und best case dargestellt.



**Abbildung 16** spezifische Kosten in Abhängigkeit der Zyklenzahl am Standort Bad Grund [Entladeleistung 100 MW, Entladedauer 4 h, Kapitalkosten 8 %, Stromkosten 4 ct/kWh, Investitionskosten 1978 €/kW (worst) und 1654 €/kW (best)].

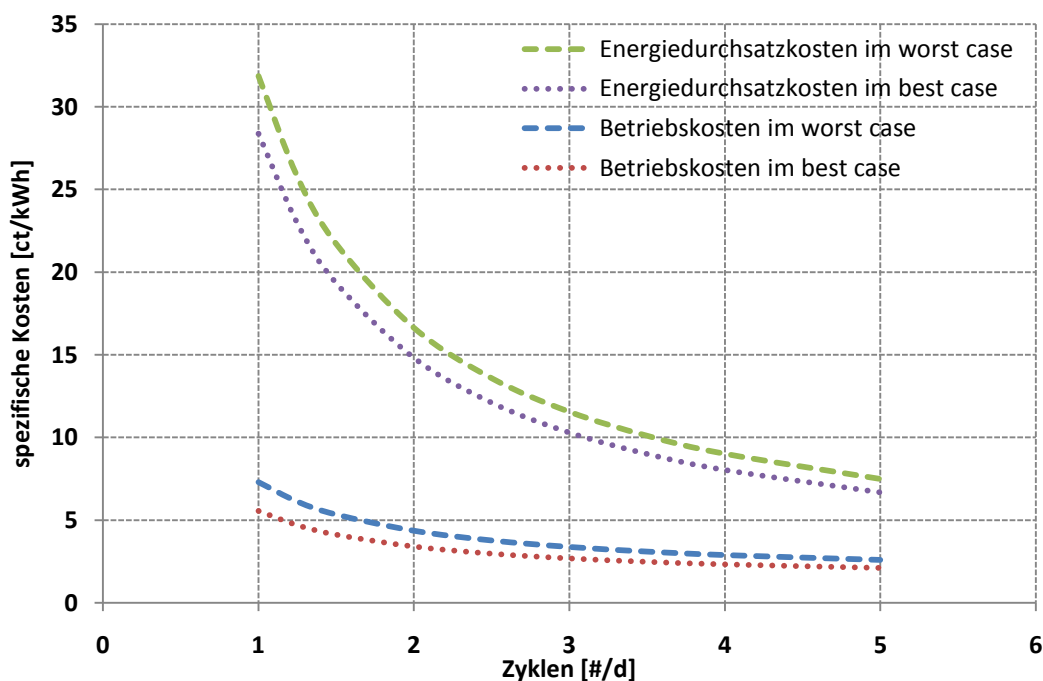
Der erwartete Verlauf bei den Energiedurchsatzkosten, nämlich eine starke Abnahme der Kosten bei Erhöhung der Zyklenzahl, stellt sich ein. Großen Einfluss auf die beiden (oberen) Verläufe besitzen die unterschiedlich verwendeten Höhen der Investitionskosten (vgl. Kapitel 3.3). Kosten kleiner 10 ct/kWh sind im *besten* Falle nur bei Zyklenzahlen größer 1,6 zu erreichen. Dieser Wert entspricht einer recht hohen Ausnutzungsdauer<sup>25</sup> von rund 2300 h/a. Damit würde man an die identifizierte Kostenobergrenze stoßen, allerdings im Mittel sogar noch über dieser liegen. Grundsätzlich gilt: Ist eine kleine

<sup>25</sup> Gilt für den Turbinenbetrieb. In der Vergangenheit wurden durchschnittliche Ausnutzungsdauern von rd. 1000 h/a von deutschen PSW ausgewiesen; in der VDE-Studie [ETG09] wird im Szenario „Tagesausgleich“ für das Pumpspeicherwerk eine Ausnutzungsdauer von 2920 h/a angenommen.

Zyklenzahl gefordert oder möglich, müssen höhere Speicherkosten in Kauf genommen bzw. entsprechende Erlöse realisiert werden; wird eine höhere Zyklenzahl angenommen, verringern sich die Energiedurchsatzkosten.

Der Verlauf bzw. die Höhe der *Betriebskosten* ist deutlich weniger abhängig von der Ausnutzungsdauer. Kosten kleiner oder gleich 5 ct/kWh können erwartet werden. Angemerkt sei, dass die Betriebskosten nicht nur variable Kosten enthalten. Ansonsten würde sich bei der spezifischen Darstellung ein horizontaler Verlauf einstellen. Da auch Bestandteile wie z.B. Wartungskosten Teil dieser Kosten darstellen, die sich als Prozentsatz der Investitionskosten ergeben und damit „fix“ sind, ergibt sich auch hier eine monoton fallende  $1/x$  Abhängigkeit. Ausführungen zu einer Grenzkostenbetrachtung und Überlegungen zur kurzfristigen Outputentscheidung sind an dieser Stelle nicht ausgeführt, sondern im Kapitel 4.1 zu finden. Die Differenzen der Kostenfunktionen der jeweiligen Fälle sind als Kapitalkosten zu interpretieren, die bei derartigen investitionsintensiven Projekten typischerweise den größeren Kostenanteil ausmachen.

Eine Verringerung der Kapazität durch eine Variation der Entladedauer auf 2 Stunden ergibt folgende Werte.

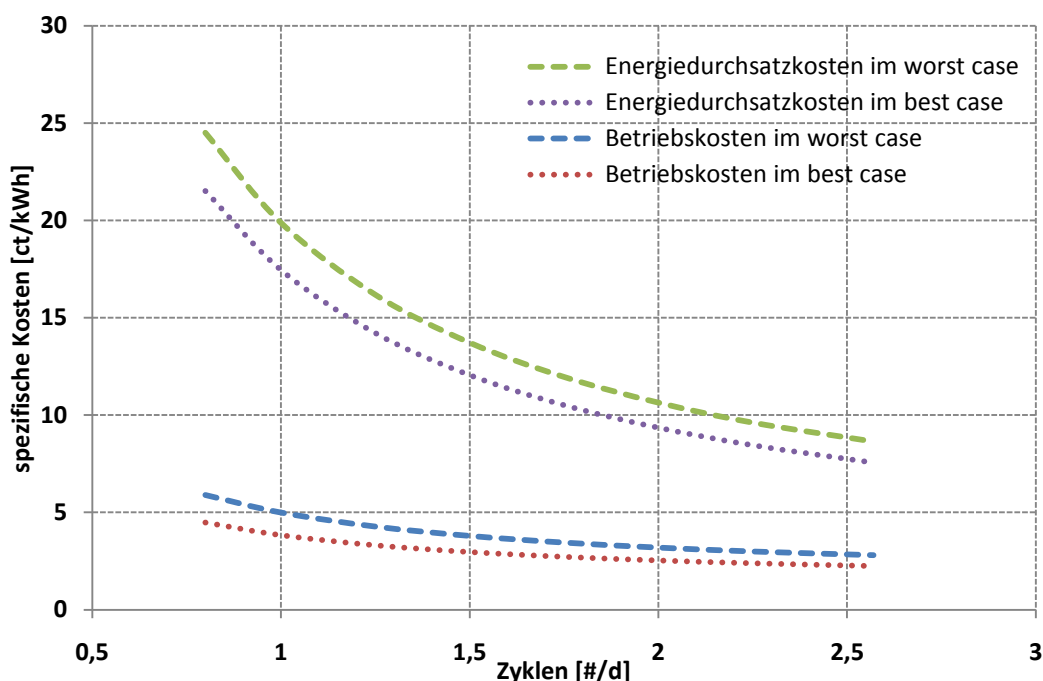


**Abbildung 17** spezifische Kosten in Abhängigkeit der Zyklenzahl bei Reduzierung der Energiemenge pro Zyklus am Standort Bad Grund [Entladeleistung 100 MW, Entladedauer 2 h, Kapitalkosten 8 %, Stromkosten 4 ct/kWh, Investitionskosten 1704 €/kW (worst) und 1380 €/kW (best)].

Durch die Kapazitätsvariation vergünstigt sich das Speichersystem aufgrund des kleineren Volumens um ca. 15 % der Investitionskosten, verringert aber gleichzeitig den Flexibilitätsgrad am Markt. Wenn durch eine starke Windeinspeisung über mehrere Stunden zu sehr günstigen Preisen Strom eingekauft werden kann, ist bereits nach einer im Vergleich zur 400 MWh Variante kürzeren maximalen Pumpenzeit das Oberbecken gefüllt. Hohe Zyklenzahlen wären gefordert, damit sich vertretbare spezifische Gesamtkosten ergeben.

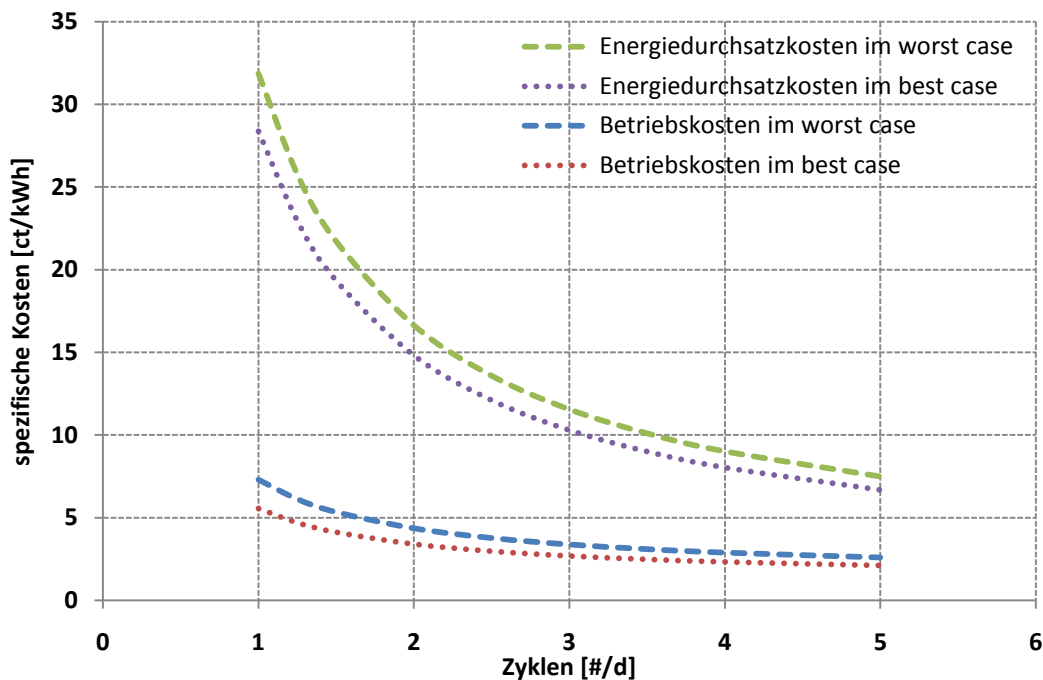
### 3.5.2 Modellbergwerk Pöhla

Analog zu den obigen Ausführungen sind die Speicherkosten des Energiedurchsatzes sowie die Betriebskosten in den zwei Kapazitätsvarianten abgebildet. Höhere Energiedurchsatzkosten sind durch die höheren Investitionskosten in beiden Diagrammen zu erkennen. Marginal kleinere Betriebskosten sind auf die niedrigeren, erwarteten Wartungs- bzw. Unterhaltungskosten aufgrund des härteren Gesteins zurückzuführen.



**Abbildung 18** spezifische Kosten in Abhängigkeit der Zyklenzahl am Standort Pöhla  
[Entladeleistung 100 MW, Entladedauer 4 h, Kapitalkosten 8 %, Stromkosten 4 ct/kWh, Investitionskosten 2179 €/kW (worst) und 1994 €/kW (best)].

Während in Abbildung 18 die größere Kapazitätsvariante dargestellt ist, sind unten die geschätzten Kostenverläufe eines PSWuT mit 200 MWh am Standort Pöhla aufgezeichnet.

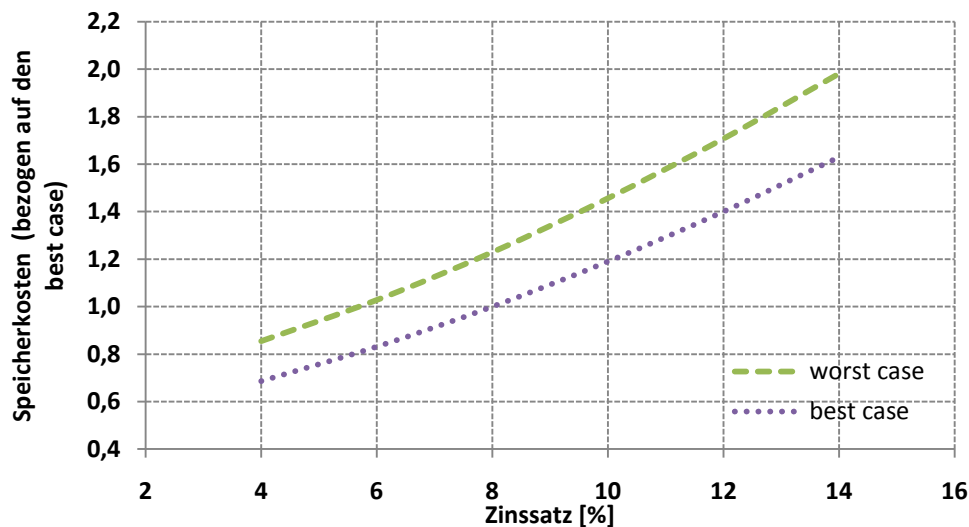


**Abbildung 19** spezifische Kosten in Abhängigkeit der Zyklenzahl bei Reduzierung der Energiemenge pro Zyklus am Standort Pöhla [Entladeleistung 100 MW, Entladedauer 2 h, Kapitalkosten 8 %, Stromkosten 4 ct/kWh, Investitionskosten 1797 €/kW (worst) und 1669€/kW (best)]

### 3.6 Sensitivitätsanalyse

Die folgenden Abbildungen sollen dazu dienen, einige Variablen auf ihren Einfluss auf die Energiedurchsatzkosten zu untersuchen. Auch wenn zwischen den Bergwerken teilweise deutliche Unterschiede in den verschiedenen Bereichen identifiziert werden (vgl. Kapitel 3.7), zeigen sich die gleichen grundsätzlichen Zusammenhänge in den Sensitivitätsanalysen. Aus diesem Grund werden stellvertretend die Eckdaten des Standorts Bad Grund für die folgenden Ausführungen verwendet. Die nachstehenden Graphen sind dabei auf den best case<sup>26</sup> normiert. Durch die relative Veränderung kann unmittelbar der prozentuale Einfluss abgelesen werden.

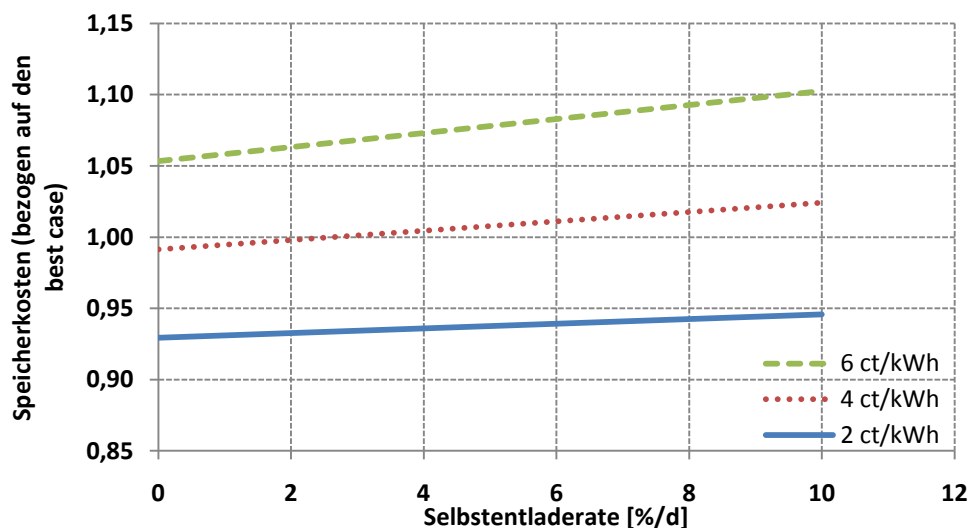
<sup>26</sup> 400 MWh Variante; Ausgangswerte – sofern diese nicht Bestandteil der Variation – 1,6 Zyklen/d, Stromkosten 4 ct/kWh, Systemlebensdauer 40 Jahre, Selbstentladerate 2,6 %/d, Zyklenwirkungsgrad 74,0 bis 76,3 %.



**Abbildung 20** normierte Energiedurchsatzkosten auf den best case bei Variation des realen Zinssatzes für den worst und best case, Referenzfall bei einem Zinssatz von 8% des best case.

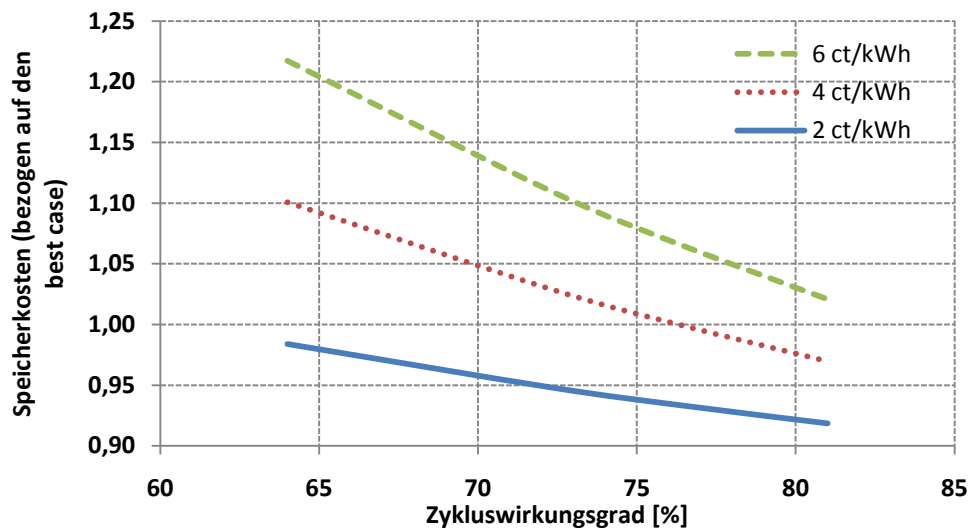
Durch die hohen Investitionskosten wirkt der Zinssatz als eine entscheidende Einflussgröße auf die Energiedurchsatzkosten. Damit zeigt sich auch, dass getroffene Annahmen über die Höhe des gewählten Zinssatzes auch die Vergleichbarkeit von verschiedenen Untersuchungen und Studien einschränken bzw. stets beachtet werden müssen.

Die folgende Abbildung zeigt die Speicherkosten bei Variation der Selbstentladerate sowie des Strompreises. Zu erkennen ist, dass die Selbstentladung nur geringfügig auf die Speicherkosten einwirkt. Bei höheren Strompreisen ist ein stärkerer Einfluss wahrzunehmen, da die Verluste mit einem höheren Preis bewertet werden. Insgesamt hat die geologisch bedingte Selbstentladung jedoch einen geringen Einfluss auf die Energiedurchsatzkosten.



**Abbildung 21** normierte Energiedurchsatzkosten (best case) bei Variation der Selbstentladerate und verschiedenen Strompreisen, Referenzfall bei einer Rate von 2,6 %/d und einem Strompreis von 4 ct/kWh.

Je nach Betriebsweise des PSW ergeben sich technisch bedingt unterschiedliche Wirkungsgrade. Die Änderung des Zykluswirkungsgrades bei verschiedenen Strompreisen hat folgende Auswirkungen auf die Energiedurchsatzkosten.



**Abbildung 22** normierte Energiedurchsatzkosten (best case) bei Variation des Zykluswirkungsgrads und verschiedenen Strompreisen, Referenzfall bei einem Wirkungsgrad von 76,3% und einem Strompreis von 4 ct/kWh.

Je kleiner der Wirkungsgrad, desto mehr Energie muss für die gleiche bereitgestellte kWh aufgebracht werden, was die Speicherkosten erhöht. Erwartungsgemäß ist die Sensitivität größer, je höher der Strompreis angenommen wird.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass insbesondere die Zyklenzahl einen großen Einfluss auf die Speicherkosten ausübt (vgl. Kapitel 3.5.1 sowie 3.5.2). Es besteht eine direkte Beziehung dazu, auf welche Energiemenge die Kosten verteilt werden können. Gleichzeitig verhalten sich die Verlustkosten in Abhängigkeit der Zyklenzahl dazu gegenläufig, wobei dieser Aspekt im Gegensatz zum oben genannten kaum ins Gewicht fällt. Des Weiteren ist aufgrund des hohen Investitionsvolumens ein starker Einfluss des angenommenen Zinssatzes festzustellen.

### 3.7 Vergleich der Modellbergwerke

Es existieren bei den betrachteten Modellbergwerken verschiedene **Unterschiede** aber auch **Gemeinsamkeiten**, die erwähnenswert sind:

- Es wird das Bohren und Sprengen als Auffahrungstechnologie einer Auffahrung mit Teilschnittmaschine vorgezogen. Auch wenn letztere Variante hinsichtlich der Dauerstandsicherheit und Schonung des Gebirges Vorzüge aufweist, erscheint es nach An-



sicht des Instituts für Bergbau sinnvoll und möglich, die kostengünstigere Möglichkeit des Bohrens und Sprengens zu verwenden, obgleich die langfristigen Unterhaltungskosten ggf. höher sein könnten. Einschränkend stellt sich bei dem Standort Pöhla diese Wahlmöglichkeit nicht, da das viel härtere Gebirge keine schneidende Auffahrung zulässt [Lam11].

- Für beide Standorte ist der Umgang mit dem Sumpfwasser als nicht belastbar zu bewertender Aspekt einzuordnen. Da es im Rahmen dieser Studie nicht möglich ist, konkrete und aktuelle Wasserproben zu entnehmen und fachgerecht zu bewerten, sind Aussagen über die Folgekosten hierüber schwer bis nicht zu ermitteln. Hier sind für etwaige weitere Studien gezielte Forschungsaktivitäten auch unter Einbezug von Experten im Bereich Wasserwirtschaft notwendig. Diverse Anfragen und Recherchen haben zu keinen befriedigenden Ergebnissen geführt, was insbesondere auf die Datengelage zurückzuführen ist. Die Fragestellung, inwieweit Reinigungsanlagen und Verwahrungen von Rückständen nötig sind, bleibt zu klären. Dabei ist die Lage am Standort Pöhla hinsichtlich der notwendigen Reinigungs- und Dekontaminierungsmaßnahmen, wie in Abschnitt 3.3.3 erläutert, eindeutig kritischer zu beurteilen als in Bad Grund.
- Die Befüllung des Speichers erscheint am Standort Pöhla Herausforderungen mit sich zu bringen. Während bei den Betrachtungen des Modellbergwerks Grund die abzweigbare Wassermenge des wasserführenden Ernst-August-Stollens theoretisch ausreichend scheint, ist die Zuflussmenge in Pöhla recht gering. Die Überlegungen das Sumpfwasser als Betriebswasser im Oberbecken zu lagern, erscheint problematisch, wenn die Bohrung für den Druckschacht erst danach erfolgen soll [Dei11]. Die Möglichkeit, mit dem geringen Wasserzufluss eine Befüllung nach Fertigstellung der Bauaktivitäten zu realisieren, würde sich negativ auf den „Einflussfaktor Bauzeit“ auswirken und durch den erwarteten Zeitbedarf am Standort als nicht sinnvoll darstellen<sup>27</sup>. Hier sind weitere Forschungsfragen zu umsetzbaren Alternativen zu beantworten.
- Die Gesamtinvestitionen der beiden PSWuT unterscheiden nicht signifikant. Ein PSWuT Bad Grund wäre hinsichtlich der Errichtungskosten den Schätzungen zufolge

---

<sup>27</sup> Bei rd. 300.000 m<sup>3</sup> und einer Wasserzufuhr von 400-500 m<sup>3</sup>/d würde sich ein nicht akzeptabler Zeitbedarf von bis zu 2 Jahren ergeben.

in der 400 MWh (200MWh) Variante ca. 13% (11%) günstiger als ein PSWuT Pöhla. Demgegenüber variieren die einzelnen Kostenpositionen teilweise erheblich. Verschiedene Unterschiede werden im Folgenden skizziert.

Im Bereich der Untertagearbeiten ergeben sich bei den spezifischen Auffahrungskosten für den Standort Pöhla etwas höhere Werte, was insbesondere auf das deutlich härtere Gestein zurückzuführen ist. Längere Bohrzeiten und mehr Sprengstoffverbrauch erhöhen die Kosten. Zudem ist durch die kleinere maximal mögliche Fallhöhe in Pöhla ein größeres Volumen zu errichten.

Die bereits angesprochene Logistikherausforderung und das Vorliegen von einer gebrochenen Förderung (Blindschächte) sind weitere Punkte, die sich negativ auf das Ergebnis am Standort Pöhla auswirken. Die Abtransportmöglichkeit des Haufwerks am Standort Pöhla ist kritisch zu bewerten (vgl. Akzeptanzteil). Die Möglichkeit, den Stollen 7 hierfür zu nutzen, ist mit einem langen Transportweg zur Halde durch Ortschaften verbunden. Ein Abtransport über den Pöhla-Stollen ist durch das angrenzende Besucherbergwerk auch nicht unproblematisch. Zudem weist der Pöhla-Stollen eine verhältnismäßig kleine Geometrie auf. Als Haupttransport wäre eventuell sogar über eine Erweiterung oder eine Schaffung eines neuen Eingangs nachzudenken, damit an dieser Stelle kein Engpass entsteht [Dei11]. Andererseits sind durch die Neuschaffungen einer Kabelabführungsmöglichkeit<sup>28</sup> und die Errichtung eines Fluchtschachtes zusätzliche, größere Kostenpositionen für ein PSWuT Bad Grund zu verbuchen. Sanierungsmaßnahmen der bestehenden Schächte und auch der Sohlen (+120 und +150) relativieren diesen Aspekt wiederum.

Insgesamt wird die gleiche Größenordnung für die mittleren Investitionskosten der bergbaulichen Arbeiten erwartet, wie folgende Tabelle aufzeigt.

**Tabelle 2** mittlere, prognostizierte Baukosten im Vergleich der Modellbergwerke

<b>Werte in Tsd.€</b>	<b>Grund</b>	<b>Pöhla</b>
Untertagearbeiten	109.709 €	112.122 €
Netzanbindung	20.330 €	27.220 €
Infrastruktur	1.968 €	4.096 €
Maschinentechnik	47.181 €	58.181 €
Sonstige Kosten	2.400 €	7.025 €

<sup>28</sup> Nur Bestandteil des worst case, weitere Ausführungen sind im Teilbericht Energiesystemtechnik sowie Bergbau zu finden.

Für die Trockenlegung des Bergwerks wurde vereinfacht die gleiche Pumpendimensionierung zu Grunde gelegt, wodurch aufgrund der höheren Wassermenge in Pöhla der doppelte Zeitbedarf und auch die doppelten Stromkosten für diese Maßnahme anfallen.

Durch die favorisierte Netzanbindungsvariante sind die Kosten für die Teilverkabelung bei dem Standort Pöhla um ca. 30 % höher, da eine längere Distanz den wesentlichen Einflussfaktor darstellt. Bezüglich der Maschinentechnik resultieren die Unterschiede im Mehraufwand bei der maschinentechnischen Ausrüstung der Schächte. Im Gegensatz zum Standort Bad Grund liegen sogenannte Blindschächte und keine Tagesschächte vor. Bei den sonstigen Kosten ergeben sich die Unterschiede im Wesentlichen durch die bereits diskutierte Wasserreinigungsproblematik.

Hinsichtlich der Attraktivität der Standorte erscheint aus den oben erläuterten Gründen, den fortwährend bestehenden Herausforderungen am Standort Pöhla und aufgrund der Ergebnisse der Kostenschätzung das Erzbergwerk Grund interessanter (vgl. Kapitel 3.3.3, 3.5.2 und 3.7).

### **3.8 Ableitung von Erkenntnissen aus der Kostenbetrachtung**

Aus den Recherchen und der ökonomischen Betrachtung sind verschiedene **Erkenntnisse und abgeleitete Grundsätze** im Folgenden dargestellt:

- Insgesamt sind untertägige Pumpspeicherwerke mit höheren Investitionskosten im Vergleich zu konventionellen PSW einzuordnen. Bei einem steigenden Bedarf stünde eine derartige Speichertechnologie dennoch zur Verfügung. Falls, nicht zuletzt durch die aktuellen politischen Diskussionen um Förderprogramme, eine Konkretisierung eines Pilotstandortes angedacht wird, ist das Erstellen und Definieren von Leistungsbeschreibungen bzw. -verzeichnissen einer der nächsten Schritte, um den entsprechenden Unternehmen konkrete und abgestimmte Fakten als Informationsgrundlage liefern zu können.
- Standortbezogene Einzelbetrachtungen sind grundsätzlich notwendig, da Verallgemeinerungen nur schwer zu treffen sind. Jedes Bergwerk ist individuell zu analysieren, da die Gegebenheiten vor Ort durch beispielsweise bereits vorhandene Strecken die Kostenrechnung beeinflussen. Dabei gilt der Grundsatz, je schlechter die Datenlage, desto größer sind die Unsicherheiten. Beispiele sind hier in der Wasserbelastungsproblematik bzw. in der Reinigung des Sumpfwassers zu sehen, wenn eine Ableitung des-

sen in Oberflächengewässer erfolgen soll. Ein anderer Aspekt ist die Sanierung der bestehenden Strecken oder Schächten, von denen nach teilweise jahrzehntelanger Flutung die aktuelle Beschaffenheit schwer abschätzbar ist. Auch konnte für die Hochspannungskabelvariante im Schacht<sup>29</sup>, die sich als technisch und genehmigungsrechtlich unerforschte Fragestellung ergibt, keine abschließende Bewertung erfolgen. Zudem wäre bei einer weiteren Konkretisierung des Projektes im Hinblick auf einen möglichen Pilotstandort der Detaillierungsgrad der Planungen weiter zu erhöhen, so dass vor diesem Hintergrund die recherchierten Werte und Ergebnisse zwangsweise als Richtwerte zu verstehen sind.

- Bei der betrachteten Speichertechnologie ist eine lange Systemlebensdauer anzusetzen. Zugleich müssen hohe Investitionssummen aufgebracht werden. Ob sich die Errichtung eines Projektes lohnt, ist eine komplexe Fragestellung und hängt von vielen Einflussfaktoren wie politische Rahmenbedingungen, Kraftwerksparkentwicklung, Preisentwicklung für Brennstoffe etc. ab [vgl. Kapitel 4].
- Generalisiert kann die Tatsache gesehen werden, dass eine Neuauffahrung der Speicherstrecken nötig ist. Durch Berücksichtigung geomechanischer Aspekte erscheint es im Gegensatz zu ersten Überlegungen nicht sinnvoll, auch hier Nachnutzungen von bestehenden Hohlräumen einzuplanen. Bei der kostenintensiven Bohr- und Sprengarbeit sind damit keine Einsparpotenziale erkennbar, was auch voraussichtlich für andere potenzielle Bergwerke gilt.
- Es bestehen Kostensenkungspotenziale, wenn von dem komplett untertägig vorgestellten Konzept eine Änderung vorgenommen wird. Die als wesentlicher Kostenanteil (vgl. Abbildung 9 und 11) identifizierte Errichtung des Oberbeckens würde durch die Auffahrung eines Beckens über Tage oder (Um-)Nutzung eines bestehenden Wasserreservoirs voraussichtlich günstiger zu realisieren sein (Hybridlösung). Der anfallende Aushub des Unterbeckens könnte auch dafür genutzt werden, einen entsprechenden Beitrag für das zu schaffende Oberbecken zu erbringen. Da voraussichtlich in allen betrachteten Bergwerken ein Oberbecken neu aufzufahren ist, gilt dieser Punkt für jedes potenzielle Bergwerk. Einschränkend zeigt sich allerdings, dass eine Einzelfallprüfung dennoch notwendig ist, da die obertägige Lage entscheidend ist. So zeigt

---

<sup>29</sup> Vgl. Teilbericht Energiesystemtechnik

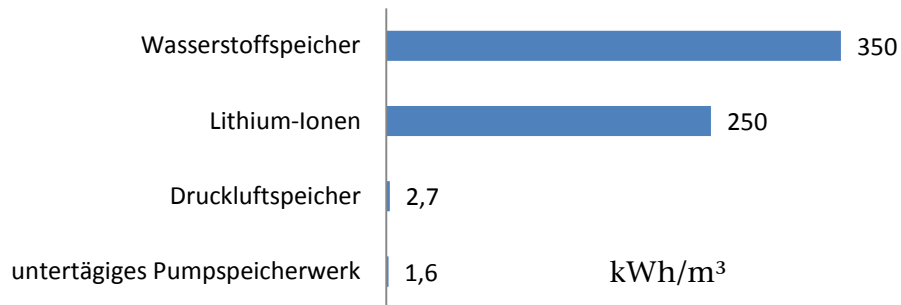
sich mind. für eins der Bergwerke, dass aufgrund von Umweltschutzrestriktionen diese Option nicht unkritisch zu bewerten ist und die Machbarkeit bisher nicht abschließend geklärt ist bzw. weiter zu untersuchen ist. Grundsätzlich würde diese Hybridlösung höhere Umweltauswirkungen nach sich ziehen. Der entscheidende Vorteil, in Deutschland verteilt Speichermöglichkeiten zu besitzen, bliebe bestehen. Auch eine höhere Fallhöhe (bis zur Erdoberfläche) würde sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Gemäß der Formelbeziehung  $E_{\text{pot}} = \rho_{\text{wasser}} \cdot V \cdot g \cdot \Delta h$  wäre bei gleichbleibender Beckengröße, eine höhere Energiemenge bzw. Speicherkapazität am Energiemarkt nutzbar. Alternativ wäre bei konstanter Energiemenge eine Reduktion der Volumina möglich, wodurch Kosteneinsparungen möglich sind. Durch eine Hybridlösung wäre es möglich, dass Kosten für das unterirdische Oberbecken<sup>30</sup> von ca. 30 Millionen € (Bad Grund) sowie ca. 36 Millionen € (Pöhla) eingespart werden, wobei ein längerer Druckschacht und Druckrohr die Gesamtkosten erhöhen. Als wesentlicher neu hinzukommender Kostenblock sind die Baukosten für die Schaffung eines Oberbeckens bzw. die Umgestaltung eines bestehenden Wasserreservoirs zu betrachten. Auch Akzeptanzfragen sind, wie im Abschnitt Ausblick dieses Teilberichts dargestellt, zu berücksichtigen.

- Auch im Hinblick auf die Ausführungen von *Ehlers*, welcher Ausführungen zum Verhältnis der Ausspeiseleistung zur Speicherkapazität diskutiert [Ehl11], erscheint eine Variante mit der größeren Kapazität von 400 MWh, auch wenn die Gesamtinvestition höher ausgewiesen wird, sinnvoller. Damit ist der Flexibilitätsgrad am Markt und damit auch die Integrationsmöglichkeit der Windenergie im Tagesausgleich erhöht. In [VDN09] wird gefordert, dass „technische Einheiten mit einem begrenzten Arbeitsvermögen“ mindestens für 4 Stunden die präqualifizierte Sekundärregelleistung erbringen können müssen. Allerdings verdeutlicht die Praxis [Ten11], dass ein Zusammenlegen von Kraftwerken, um die Bedingungen zu erfüllen, möglich ist. Damit ist die Anforderung nicht als scharfes Ausschlusskriterium zu verstehen, an einem lukrativen Kapazitätsmarkt keine Erlöse erzielen zu können [vgl. Kapitel 4.2 und 4.5].
- Ein untertägiges Pumpspeicherwerk muss bei der Frage, ob es eher als „Leistungs“- oder Energiespeicher arbeiten würde, in die erste Kategorie eingeteilt werden. Hierfür sind drei Argumente anzuführen.

---

<sup>30</sup> In der 400 MWh Variante.

Zum einen ist die gespeicherte Energie pro Volumeneinheit, wie folgende Abbildung<sup>31</sup> verdeutlicht, sehr gering. Bei beiden Modellbergwerken sind nach derzeitigem Stand deutlich größere Hohlraumgrößen aufgrund von bergbau- und umweltfachlichen Gründen nicht zu ermöglichen.



**Abbildung 23** Vergleich von Speichertechnologien hinsichtlich der Energiedichte – in Anlehnung an [Buc09].

Falls die Restriktionen für einen Moment ignoriert würden oder beispielsweise an anderen Standorten kein Engpass vorliegt, ist ein zweiter Grund anzuführen. Die spezifischen Auffahrungskosten bzw. der Aufwand zur Herstellung größerer Hohlräume trägt dazu bei, dass kein Energiespeicher (im Sinne eines wochenzyklischen Ausgleichs großer Energiemengen) darstellbar ist. Es ist daher offensichtlich, dass untertägige Pumpspeicherwerke, bei denen relativ große Auffahrungskosten für die Kapazität anfallen, nicht mit dem gleichen Einsatzzweck wie skandinavische Speicherkraftwerke gesehen werden können, bei denen im Idealfall bereits zwei Becken mit riesigen Volumina vorhanden sind. Als letzter und allgemeingültiger Punkt ist zu nennen: Für eine Wochen-/Monats- oder gar Saisonspeicherung liegen derzeit keine ausreichenden wirtschaftlichen Anreize vor. Durch kleinere Zyklenzahlen verteilen sich die Kosten auf eine geringere Einsatzdauer, was die spezifischen Kosten erhöht. Denkbar wäre dieses Szenario bzw. dieser Kraftwerkseinsatz, wenn längerfristige Spreads (z.B. deutliche Preisdifferenzen in verschiedenen Monaten des Jahres) an den Märkten vorhanden wären, was allerdings nicht vorliegt.

In den technischen Teilberichten des vorliegenden Dokuments wurden die beiden Varianten eines PSWuT mit 200 und 400 MWh mit festen Rahmenbedingungen hinsichtlich

<sup>31</sup> Annahmen: PSWuT Höhenunterschied 600 m, Druckluftspeicher Druck 2MPa (=20bar), Wasserstoffspeicher Druck 20 MPa, Wirkungsgrad 58 %.

zum Beispiel der Fallhöhe betrachtet. Neben diesen zwei Fällen, die in Abschnitt 3.5 analysiert wurden, existieren keine weiteren Szenarien, die entsprechend wirtschaftlich bewertet werden können. Durch einige Variationen und Gedankenspiele sollen dennoch Hinweise auf **Optimierungspotenziale und Auslegungsfragen** diskutiert werden:

- Grundsätzlich ist eine möglichst hohe Fallhöhe anzustreben. Beispielsweise am Standort Bad Grund<sup>32</sup> ergibt sich bei einer Steigerung des Höhenunterschieds um 100 m, unter sonst gleichen Bedingungen, ein Vorteil in Höhe von ca. 4,2 Mio €. Die wesentlichen Treiber sind bei gleichbleibender Energiemenge die Verkleinerung der Volumina und auf der anderen Seite ein Mehraufwand bei den tiefer zu teufenden Schächten. In der Realität besitzt jedes Bergwerk seine Restriktionen, die der maximalen Fallhöhe Grenzen setzen. Bei der Auswahl von Bergwerken sollte dieser Aspekt jedoch ein wesentliches Kriterium darstellen. Auch die Position insbesondere des Oberbeckens sollte so gewählt werden, dass die darüber liegende Erdoberfläche möglichst ein hohes Niveau erreicht. Das Ausnutzen des zulässigen Grenzwerts der minimalen Überdeckung zwischen Oberfläche und der Strecken führt dann zu einer maximalen Höhendifferenz.
- Bei Leistungsvariationen von der anvisierten Auslegung mit einem 100 MW Maschinensatz sind drei Möglichkeiten denkbar. Die Ergänzung eines Maschinensatzes durch einen zweiten gleicher Größenordnung würde Einsparungen von 10 – 12% gegenüber den doppelten Kosten der Maschinensätze ermöglichen<sup>33</sup>. Hierbei würde sich bei unveränderter Speicherstreckengröße die Entladezeit halbieren bzw. müsste bei gleicher Entladezeit das doppelte Hohlraumvolumen aufgefahren werden. Zudem ist eine Vergrößerung der Maschinen-/Trafokaverne nötig.
- Die Verwendung *eines* Maschinensatzes mit einer geringeren Leistung (ternärer Satz mit 70 MW) könnte im Vergleich zur ursprünglichen Auslegung die Gesamtkosten des Maschinensatzes um ca. 15 – 20% senken. Ein Maschinensatz mit einer höheren Leistung (ternärer Satz mit 150 MW) erhöht die Kosten um ca. 25 – 35%. Insbesondere der letzte Fall lässt auf einen Trade-off schließen. Eine fünfzigprozentige Leistungserhö-

---

<sup>32</sup> Überschlägige Rechnung für das 400 MWh Szenario. Hinweis: Je höher die Energiemenge, desto einflussreicher ist dieser Aspekt, da die Kostensenkung bei den Strecken einen größeren Einfluss gegenüber anderen Faktoren einnimmt.

<sup>33</sup> Daten, die als Trendwerte zu verstehen sind, wurden von [Voi11] bereitgestellt.



hung würde die Gesamtkosten des Systems lediglich um 6,6 bis 9,2% erhöhen. Neben einer Senkung der leistungsspezifischen Kosten würde sich aber auch eine Verringerung der möglichen Entladedauer einstellen. Wenn zu Vergleichszwecken ein vierstündiger Turbinenbetrieb garantiert werden soll, resultiert bei Berücksichtigung der Speicherstreckenerweiterung eine Gesamtkostenenerhöhung von 21,6 bis 24,3%. Da in dieser Abschätzung die abrufbare Energiemenge um 50% steigt, erscheint dieser Aspekt als ein auch von den anderen Disziplinen zu prüfender Punkt.

- [Voi11] gibt ebenfalls zu bedenken, dass der technische Mehrwert (Bsp. Hydraulischer Kurzschlussbetrieb) durch den geplanten Maschinensatz mit hohen Kosten verbunden ist. Wenn eine einstufige Pumpturbine, die für die relevanten Fallhöhen eingesetzt werden könnte, von den technischen Restriktionen genüge, sind Einsparungen und damit erhebliche Kostensenkungspotenziale bei gleicher Dimensionierung von 30 – 40% der Maschinensatzkosten (entspricht 16,5 bis 22 Mio €) möglich.
- Wenn die Kapazität des Speichers vergrößert werden soll, müssen Streckenelemente bei Ober- und Unterbecken erweitert werden. Insbesondere aufgrund der Lage der Wasserschutzgebiete (vgl. Teilbericht Umwelt und Recht) sind diese Gedanken an den konkreten Standorten allerdings eher theoretischer Natur. Die entscheidenden Kostenfaktoren für die Auffahrung sind neben der verwendeten Technologie und dem benötigten Ausbauaufwand die Art des Nebengesteins, die Länge und der Querschnitt der Auffahrung.
- Kostensenkungspotenziale, die auf Lerneffekten basieren, werden tendenziell gering eingeschätzt. Anders formuliert; man befindet sich bereits in einem flacheren Verlauf der Lernkurve. Sowohl bei den bergtechnischen Arbeiten als auch bei der Maschinentechnik oder Elektrotechnik wird bewährte Technik eingesetzt. Insbesondere die Einzelkomponenten weisen bereits sehr hohe Wirkungsgrade auf und auch der Gesamtwirkungsgrad der Anlage ist hoch. Ein Optimierungspotenzial könnte in den Planungen bei den nutzbaren und aufzufahrenden Speicherstrecken gesehen werden. Aktuell wird eher konservativ geplant, so dass 22 – 27 % mehr Hohlraum aufgefahren werden muss, als tatsächlich nutzbar ist.
- Als weiteren wirtschaftlichen Aspekt einer optimalen Anlagenkonfiguration ist die Forderung nach einem möglichst senkrechten Druckschacht zu nennen. Die Kostenrecherchen machen deutlich, dass eine Abweichung von einer vertikalen Bohrmög-

lichkeit mit nennenswerten Kostenerhöhungen verbunden ist. Neben der technischen Problematik, dass die Zielgenauigkeit sinkt, sind die Kosten für eine beispielsweise 70 Grad geneigte Druckrohrverbindung (Standort Pöhla) um 20-30 % höher einzuschätzen.

Insgesamt zeigt sich, dass mehrere Anknüpfungspunkte für Möglichkeiten der Kostensenkung bestehen. Insbesondere bei dem Punkt der Maschinensatzdimensionierung, aber auch bei der Fallhöhe bzw. der Lage der Speicherbecken sowie der Planung des Druckschachtes müssen Wirtschaftlichkeitsaspekte unter Berücksichtigung von technischen sowie (umwelt-)rechtlichen Restriktionen eine Priorität besitzen.

## **4. Aktuelle Marktsituation und zukünftige Entwicklungen**

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Möglichkeiten und Chancen, die ein Kraftwerksbetreiber bzw. Investoren hätten, wenn unter energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten ein Betrieb vorgesehen wäre. Aus den technisch möglichen Betriebsweisen und Aufgaben eines Pumpspeicherwerkes [Gie09] lassen sich im Wesentlichen vier Erlösmöglichkeiten ableiten, die in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt werden.

### **4.1 Ausnutzung von zeitlichen Preisdifferenzen**

Ist der Spread zwischen peak- und offpeak-Zeiten größer als die entstehenden Verluste und variablen Betriebskosten, ist ein Einsatz des Speichers in der kurzen Sicht sinnvoll. Sind zusätzlich die Investitionskosten durch das langfristig zu erwartende Delta zwischen Verkaufs- und Einkaufspreis zu decken, ist die Errichtung eines Pumpspeicherwerkes in der langen Sicht attraktiv.

Eine Vertriebsmöglichkeit des Speicherstroms stellt dabei die Strombörse dar, bei der sich der Preis für die Megawattstunde durch den Market-Clearing-Preis bei Zusammenkommen von Angebot und Nachfrage bildet. Durch die Zunahme der Einspeisung aus fluktuierenden Quellen gibt es Situationen, in denen das regenerative Angebot (und die Leistung von weiteren am Netz befindlichen must-run Kraftwerken) die Netzlast übersteigen. Sogenannte Starkwind-Schwachlast Fälle haben sehr geringe oder sogar negative Strompreise zur Folge. Eine Auswertung in [Den10/1] verdeutlicht, dass von 2008 zu 2009 sowohl die Häufigkeit als auch der Betrag der negativen Strompreise zugenommen haben. Prinzipiell bedeutet dies eine bessere Marktsituation für Speicherkraftwerke. Abgesehen von diesen Fällen zeigt sich allerdings, dass bei den *heutigen* Preisdifferenzen an der Euro-

pean Energy Exchange [EEX/1] von oftmals wenigen ct/kWh das zu erzielende Delta, wie es in Kapitel 3 dargestellt wird, auf Dauer eindeutig nicht erreicht werden kann.

Eine unzureichende Fixkostendeckung wird dabei als Folge der Grenzkostenpreisbildung im wettbewerblichen Strommarkt beschrieben. Speziell in diesem fixkostenintensiven Sektor kann gezeigt werden, dass zu geringe Deckungsbeiträge in der langen Sicht keinen nachhaltigen Betrieb ermöglichen können [Mue07]. Dabei ist die Höhe der sogenannten inframarginalen Gewinne entscheidend, die die Kraftwerke als Differenz zwischen dem einheitlich bezahlten Market-Clearing-Preis und den individuellen Grenzkosten erhalten. Wenn dieser Betrag zu gering ist, besteht ein Fixkostendeckungsproblem für den Kraftwerksbetreiber.

Trotz der angesprochen Problematik würde – sofern ein Bau eines PSWuT durch Argumente wie hohe Erlöserwartungen auf anderen Märkten oder Investitionsförderungen umgesetzt wäre – ein Kraftwerkseinsatz auch am Spotmarkt erfolgen. Damit stellt sich die Frage, welche Treiber hinter der operativen Outputentscheidung stehen. Stünde ein un-  
tertägliches Pumpspeicherwerk zum energiewirtschaftlichen Einsatz bereit, kann die eingangs erläuterte Kraftwerkseinsatzregel wie folgt dargestellt werden:

$$\eta \geq \frac{p_{niedrig}}{p_{hoch}}$$

Es wird dabei angenommen, dass als Kosten einer zusätzlichen zu bereitstellenden MWh alleine Wirkungsgradverluste und Strombezugskosten anfallen. Wenn nun für 30 €/MWh Strom eingekauft wird, würde bei einem Zykluswirkungsgrad von 0,75 bereits ein Verkaufspreis von größer gleich 40 €/MWh als Anreiz ausreichen, um Stromkontrakte zu beziehen bzw. bereitzustellen<sup>34</sup>. Dabei ist zu erinnern, dass vielmehr die Strompreisdifferenzen<sup>35</sup> als die absoluten Werte von Bedeutung sind. Das Beispiel veranschaulicht, dass die Frage nach den Opportunitätskosten bedeutend und entscheidungsrelevant ist. Für einen Dispatcher steht immer die Frage im Raum, ob die Energie an einem anderen „Ort“ bzw. zu einem anderen Zeitpunkt zu höheren Erlösen vermarktet werden kann. Wenn man beispielsweise zu einem späteren Zeitpunkt einen hohen Marktpreis erwartet, würde man

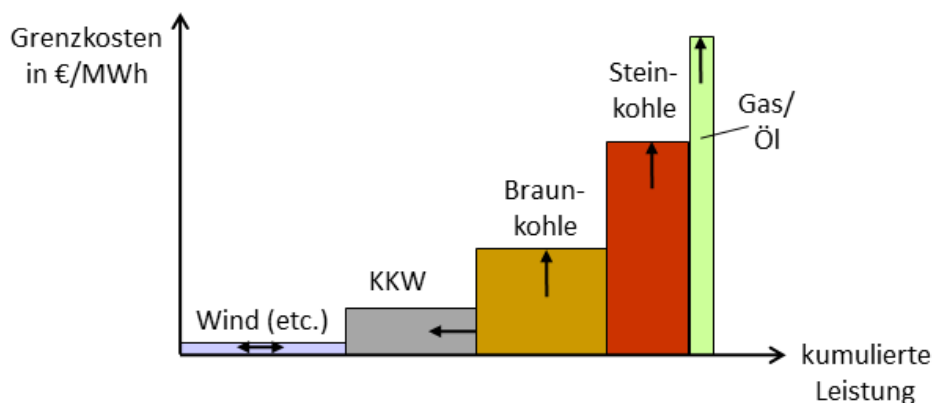
---

<sup>34</sup> In Zeiten negativer Strompreise sei darauf hingewiesen, dass diese Formelbeziehung nur für positive Strompreise Gültigkeit besitzt. Wenn der Anlagenbetreiber für den Stromeinkauf bezahlt wird, existieren für ihn keine Grenzkosten.

<sup>35</sup> Im Beispiel ergibt sich also eine Differenz von lediglich einem ct/kWh.

zur aktuellen Stunde seinen Strom nicht anbieten, auch wenn der Preis über den eigenen Grenzkosten liegt.

Neben der aktuellen Situation sind die zukünftigen Entwicklungen insbesondere hinsichtlich des Preises von Interesse, da die Errichtung eines neuen Pumpspeicherwerkes wie oben geschildert mit einer Auslegung auf 40 Jahre oder länger verbunden ist. Belastbare quantitative Werte in diesem Zeithorizont abzuschätzen, ist mit hinreichender Genauigkeit unmöglich. Einige qualitative Aussagen über zukünftige Entwicklungen können dennoch getroffen werden und sind in der folgenden schematischen Abbildung zusammengefasst.

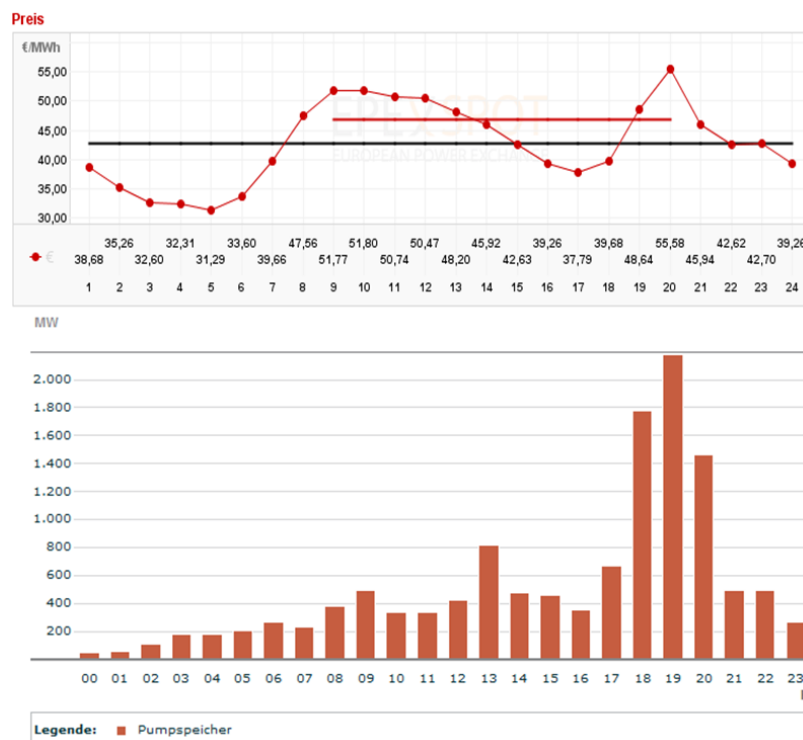


**Abbildung 24** Prinzipielle Darstellung einer Merit-Order und zukünftige Effekte auf die langfristige Preisentwicklung bei Annahme von steigenden Zertifikatspreisen und einem Ausstieg aus der Kernenergie.

Die vermehrte Windstromeinspeisung mit Grenzkosten bei 0 €/MWh ordnet sich links in die Merit-Order ein und beeinflusst – verstärkt durch einen weiteren Ausbau – den entstehenden Strompreis. Durch den Ausstieg aus der Kernenergie und teureren CO<sub>2</sub>-Zertifikaten bei der Braunkohle würde der Effekt entstehen, dass das Einspeichern von Strom für ein späteres Verkaufen unattraktiver wird. Ein Schnittpunkt mit der Nachfrage würde tendenziell einen höheren Einkaufspreis für den einzuspeichernden Strom ergeben. Neben dem zukünftigen Grenzkostenverlauf der Steinkohle ist ein entscheidendes Kriterium, wie sich der Preis der endlichen Ressource Gas entwickeln wird. Aufgrund eines steigenden Gaspreises würden weniger Gasturbinen als letzte preissetzende Kraftwerke in der Merit-Order zum Zuge kommen bzw. würden sich bei entsprechendem Bedarf höhere Preise einstellen. Ein insgesamt steilerer Verlauf der Merit-Order und damit eine heterogenere Struktur würde auf höhere Preisdifferenzen schließen. Darüber hinaus können als weitere Faktoren die politischen Rahmenbedingungen, das Marktdesign oder ein Ausbau

transnationaler Interkonnectoren die Preisspreizung beeinflussen und damit auf die Wirtschaftlichkeit von Pumpspeicherwerken wirken.

Neben der Bereitstellung von Wirkleistung existieren noch weitere Funktionen, die einem Betreiber eines Pumpspeicherwerks einen wirtschaftlichen Nutzen bringen können. Abbildung 25 veranschaulicht, dass die Erzielung der größtmöglichen Preisdifferenz am Spotmarkt nicht die alleinige Steuergröße für die Fahrweise eines Pumpspeicherwerks ist.



**Abbildung 25** Strompreisverlauf am Spotmarkt der EEX (oben) und erzeugter Leistungsverlauf von Pumpspeicherwerken (unten) am 04.03.2010 (Do). [EEX/1] oben, [EEX/2], unten.

Es existieren Pumpspeicherwerke, die zu einem eher geringen Strompreis (zwischen 15 und 17 Uhr<sup>36</sup>) dennoch Leistung zur Verfügung stellen; andererseits zeigen sich am Vormittag bei einem ähnlichen Strompreis wie am Abend signifikante Unterschiede in der Leistungsbereitstellung. Dabei ist neben der Veredelung von Strom die Erbringung von Netzdienstleistungen eine Möglichkeit, welche eine zunehmende wichtige bzw. grundsätzlich lukrative Option ist. Hierbei ist im Rahmen der Systemdienstleistungen zum Beispiel die Bereitstellung von Regelernergie gemeint.

<sup>36</sup> Bezug zu der unteren Zeitachse bzw. zur oberen mit t - 1h.

## 4.2 Regelenenergiemarkt

Die Notwendigkeit der Bereitstellung von Regelleistung<sup>37</sup> entsteht durch zwei Ursachen [Kon09]:

- unerwartete Änderungen bzw. Ausfälle von Erzeugerkapazitäten
- unerwartete Änderungen bzw. Ausfälle von Verbrauchern (Lasten)

Ein Anwendungsbeispiel zum ersten angeführten Punkt wären Fehlprognosen, also Abweichungen von der erwarteten Einspeisung der fluktuierenden Energiequelle von der tatsächlichen (Windstrom-) Einspeisung. Beide oben aufgeführten Fälle haben gemeinsam, dass ein Ungleichgewicht zwischen Stromeinspeisung und –entnahme vorliegt. Gerade dies ist allerdings eine elementare Voraussetzung für ein stabiles Energienetz. Dabei gilt, dass eine nicht ausgeglichene Leistungsbilanz Veränderungen bei der Netzfrequenz hervorruft. Während ein Leistungsüberschuss zu einer Erhöhung der Frequenz führt (negativer Regelenenergiebedarf), weist eine Frequenz unterhalb dem Sollwert auf ein Leistungsdefizit hin (positiver Regelenenergiebedarf). Die Netzfrequenz darf jedoch mit ihrem sehr schmalen Toleranzband nicht von dem Sollwert abweichen<sup>38</sup>. Die ÜNB sind daher durch den EnWG § 13 verpflichtet, die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Elektrizitätsversorgungssystems zu wahren. Um dies zu gewährleisten setzen die ÜNB zur Frequenzhaltung drei Reservearten ein: Primärregelleistung<sup>39</sup>, Sekundärregelleistung<sup>40</sup> und Minutenreserveleistung<sup>41</sup> [VDN09]. Die drei Arten können als unterschiedliche Qualitäten der Reservearten verstanden werden. Die Folge davon ist auch das Vorliegen von verschiedenen Vergütungssätzen. Grundsätzlich ist dies hier diskutierte PSWuT in der Lage Sekundärregelleistung sowie Minutenreserveleistung zu erbringen. Da für die Bereitstellung von Regelenenergie erhöhte technische Anforderungen bestehen, spiegelt sich dies in der Vergütung wieder, was diese Vertriebsmöglichkeit des Speicherstroms interessant macht.

---

<sup>37</sup> Wenn Regelleistung für eine Zeit tatsächlich in Anspruch genommen wird, ist Regelenenergie abgerufen worden.

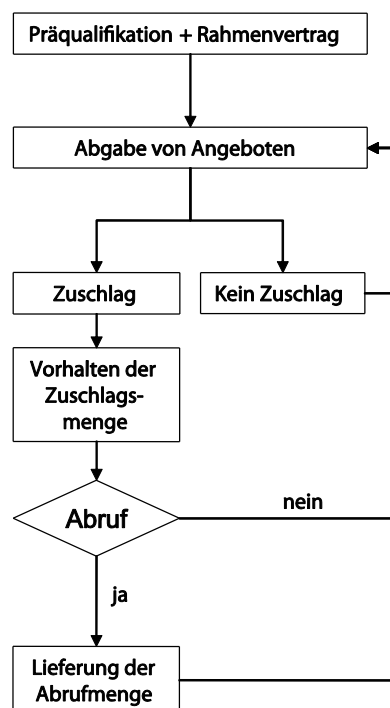
<sup>38</sup> Technisch orientierte Ausführungen insbesondere hinsichtlich der Systemdienstleistungen sind im Teilbericht Energiesystemtechnik zu finden.

<sup>39</sup> Auch Sekundenreserve; greift „sofort nach Ungleichgewicht“ ein, Sekundenbereich.

<sup>40</sup> Löst Primärregelung innerhalb von 30 Sekunden ab.

<sup>41</sup> Löst Sekundärregelung spätestens nach 15 Minuten ab.

Marktteilnehmer, die Regelleistung anbieten wollen, müssen zunächst ein Präqualifikationsverfahren durchlaufen, in dem geprüft wird, ob die Anforderungen zur Bereitstellung von Regelleistung erfüllt werden. Am deutschen Regelleistungsmarkt erfolgt ein sogenannter Ausschreibungswettbewerb, wobei Kraftwerksbetreiber wie auch Stromkunden als Anbieter auftreten können [Reg11]. Die Leistungsausschreibungen, welche im Vorfeld durch den ÜNB bestimmt werden, sind von den drei genannten Reservearten jeweils separat durchzuführen. Die Stabilität im Netz kann dabei als eine preisunabhängige Nachfrage interpretiert werden, da eine ausgeglichene Frequenz immer geboten sein muss. Daraus folgt, dass eine Preisunelastizität hinsichtlich der nachgefragten Leistung vorliegt. Des Weiteren ist die nachgefragte Arbeit erst ex-post bekannt, d.h. erst dann, wenn die Erbringung beendet ist. Anbieter erhalten für alle Arten einen Leistungspreis, wodurch das Recht die Regelleistung in Anspruch zu nehmen vergütet wird, was einem Optionspreis gleichkommt. Zusätzlich dazu wird auf dem Sekundär- sowie Minutenreservemarkt ein Arbeitspreis bei Inanspruchnahme der Regelleistung bezahlt. Der Ablauf der Vermarktung von Regelleistung wird im folgenden Ablaufschema deutlich.



**Abbildung 26** Vermarktung von Regelleistung - Quelle: [Mue10].

Es erfolgt eine Sortierung der Leistungspreise nach dem Merit-Order-Prinzip, wobei die Anbieter mit den kleinsten Leistungspreisen einen Zuschlag erhalten. Dies geschieht so-



lange bis der prognostizierte Leistungsbedarf gedeckt ist. Zudem erfolgt eine Festlegung der Einsatzreihenfolge, die abhängig von der Höhe der Arbeitspreise ist.

Auf der Internetplattform [www.regelleistung.net](http://www.regelleistung.net) werden die täglichen Ausschreibungen von Minutenreserveleistung sowie die monatlichen Ausschreibungen von Primär- und Sekundärregelleistung offen gelegt.

[BCG11] stellt fest, dass das Bereitstellen von Regelleistung eine der attraktivsten Erlösmöglichkeiten für Speichertechnologien darstellt. Beeinflusst wird die Attraktivität dieser Möglichkeit durch die Höhe des gezahlten Leistungspreises und - sofern vorhanden - durch die Höhe der vergüteten Arbeit. Die in [BCG11] durchgeführten Analysen zeigen, dass für den Minutenreservemarkt Durchschnittspreise von 10 bis 30 € pro MW und Stunde gezahlt werden.

Es existieren Publikationen, die darauf hinweisen, dass mit einem Anstieg der fluktuierenden Einspeisung erneuerbarer Energien auch ein steigender Regelenenergiebedarf erwartet wird. Demgegenüber stehen jedoch Studien, die aufgrund verbesserter Prognosemöglichkeiten bei dem durch die Windenergie induzierten Regelenenergiebedarf langfristig mit einem Bedarf unter dem heutigen Niveau rechnen, wobei mittelfristig jedoch ein Anstieg erwartet wird [IWE10]. Auch im Marktdesign des europaweiten Stromhandels, welcher nahezu ausschließlich im 1-h-Raster erfolgt, sieht *Weißbach* bei einem Stundenwechsel systembedingte Leistungsungleichgewichte, die zu steigenden Regelenenergiekosten führen [Wei09]. Als weiterer Aspekt ist auch die Reduzierung von konventioneller Kraftwerksleistung zu erwähnen, die derzeit noch einen nennenswerten Anteil der Regelleistung bereitstellt. Die Bundesnetzagentur macht in einem Eckpunktepapier deutlich, dass die Markt- und Ausschreibungsbedingungen auf den Regelenenergiemärkten weiterentwickelt werden müssen [BNA10]. Das Marktgeschehen lässt an verschiedenen Punkten vermuten, dass strategisches Verhalten von Anbietern möglich ist, was die Bundesnetzagentur durch neue Spielregeln verhindern möchte. Insgesamt wird versucht, durch beispielsweise Senkung der Mindestangebotsgröße oder der Poolung (Zusammenfassung) von Anlagen, kleineren Anbietern den Markteintritt zu erleichtern. Bei Wirksamkeit der anvisierten Maßnahmen würde die Konsequenz in einer Erhöhung des Angebotsvolumens liegen, was wiederum (ein gleichbleibender Bedarf vorausgesetzt) zu sinkenden Preisen führen würde.

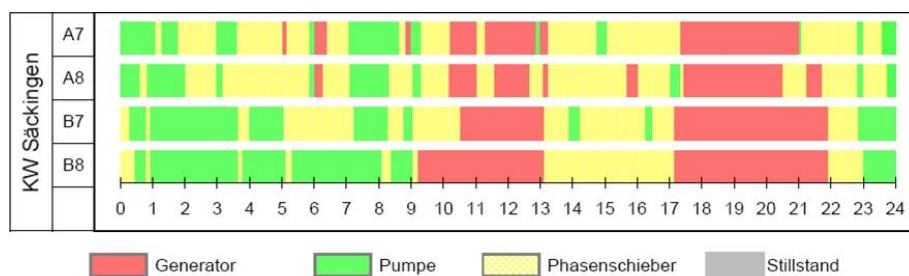
Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Regelenergiemarkt attraktive Möglichkeiten bietet. Strategische Investitionsentscheidungen sind jedoch auf Basis dieser Märkte durch Unsicherheiten in ihrer Entwicklung schwierig zu bewerten.

Neben dem Beitrag zur Frequenzhaltung durch die Regelenergie kann auch ein wirtschaftlicher Nutzen durch die Blindleistungsbereitstellung generiert werden, welche im folgenden Abschnitt diskutiert werden soll.

### 4.3 Blindleistungsbereitstellung

Als weitere Systemdienstleistung ist neben der Frequenzhaltung auch die Spannungshaltung zu nennen. Durch den sogenannten Phasenschieberbetrieb ist durch Blindleistungsbereitstellung eine Spannungsregelung möglich. Dadurch wird eine Spannungshaltung realisiert, die die Abweichungen der Spannung vom Sollwert auf das erforderliche Maß eingrenzt.

Die Fahrweise des Pumpspeicherwerks Säckingen (Abbildung 27) verdeutlicht, dass der Phasenschieberbetrieb (gelb) eine energiewirtschaftliche Aufgabe eines Pumpspeicherkraftwerks ist.



**Abbildung 27** Maschineneinsatz des Pumpspeicherwerks Säckingen am 2. November 2008 – Quelle: [SSW08].

Da zu dieser Erlösmöglichkeit kein transparenter Markt vorliegt, sondern vielmehr bilateral Verträge getroffen werden, können keine quantitativen Aussagen zur Attraktivität getroffen werden. Allerdings ist die Aussage eines Industrievertreters, dass der Beitrag eine untergeordnete Rolle spielt und insbesondere bei Investitionsentscheidungen keinen wesentlichen Einflussfaktor darstellt [Sta11].

### 4.4 Schwarzstartfähigkeit

Auch der Versorgungswiederaufbau nach einem „Black-out“ gehört zu den Systemdienstleistungen, für die die ÜNB in Verantwortung stehen. Um dies zu ermöglichen sind Kapazitäten nötig, die eine Schwarzstartfähigkeit gewährleisten. Das heißt, es werden Erzeu-

gungsanlagen gebraucht, die u.a. ohne fremde Hilfe netzunabhängig starten können und einen Versorgungswiederaufbau ermöglichen.

[BCG11] beschreibt, dass die Verträge hierzu in der Regel bilateral zwischen Netzbetreiber und dem Betreiber eines Pumpspeicherwerks ausgehandelt werden. Man kommt bei den Recherchen zu dem Ergebnis, dass Erlöse von 5 € pro kW und Monat in den nächsten Jahren als realistisch angenommen werden können. Vergleicht man diese Prognosewerte mit den Kosten eines PSWuT bzw. mit anderen Erlösmöglichkeiten, erscheint diese Option weniger attraktiv. Wenn sich das Preisniveau in Zukunft positiv aus Betreibersicht entwickelt, kann ein Anbieten dieser Leistung lukrativer werden.

Allerdings existieren einige Bedingungen, die diese Erlösmöglichkeit für ein PSWuT einschränken. Um die Fähigkeit eines Schwarzstarts zu garantieren, muss eine gewisse (Wasser-)Kapazität im Oberbecken vorgehalten werden. Für Batteriesysteme, die hinsichtlich der Lebensdauer keine maximale Entladetiefe von 100 % haben sollten, ist in der Regel eine Restkapazität vorhanden. Hier bietet es sich an, aus der technischen Restriktion einen zusätzlichen wirtschaftlichen Nutzen zu ziehen. Für Pumpspeicherwerke unter Tage lassen sich ähnliche Argumente finden, dass technisch bedingt eine ausreichende Kapazität vorhanden sein muss, die in entsprechenden Ausnahmefällen („Black-out“) abgerufen werden kann. Aus den Planungen des Bergbaus geht hervor, dass die sogenannte Sammelstrecke und auch Teile der Speicherstrecken aus strömungsmechanischen Gründen für den Normalbetrieb teilweise gefüllt sein müssen. Für Ausnahmesituationen könnten diese Wassermengen jedoch genutzt werden. Hieraus ergibt sich ein zusätzliches Potenzial<sup>42</sup> bei der größeren Kapazitätsvariante von 44.550 m<sup>3</sup> bzw. eine potenzielle Energie in Höhe von 85 MWh, welches ansonsten ungenutzt bliebe. In Hinblick auf die oben genannten Erlöserwartungen ist dies eine nennenswerte Option. Die weitere Bedingung, dass keine oder nahezu keine Selbstentladung vorliegt, kann ebenso von einem PSWuT erfüllt werden. Es ist natürlich möglich einen größeren Kapazitätsanteil für diesen Zweck vorzuhalten und damit eine Vergütung zu erhalten. Diese Kapazität darf dann aber für keinen weiteren energiewirtschaftlichen Betrieb genutzt werden.

---

<sup>42</sup> Volumen der Sammelstrecke plus 50% des Volumens des geeigneten Teils (erste 50 m) der Speicherstrecken; bei Annahme von 39 Speicherstrecken und 700 m Fallhöhendifferenz.

#### 4.5 Ein Business Case

Die Darstellung eines erfolgsversprechenden Business Case scheint zum heutigen Zeitpunkt schwer umzusetzen. Strom- bzw. Energiespeicher sind grundsätzlich teure, aber insbesondere zukünftig mehr denn je benötigte Bestandteile in einem Elektroenergiesystem. Da wie in 4.1 gezeigt, die alleinige Betrachtung der Möglichkeiten z.B. am Spotmarkt nicht ausreichend ist, stellt sich die Frage, ob durch eine Konstellation eines anderen Beispiels ein positiver Business Case denkbar ist. Im Folgenden soll daher ein vereinfachtes Fallbeispiel aufgestellt werden.

Es wird die Bereitstellung negativer Sekundärregelleistung (in der Nebenzeit von 20 bis 8 Uhr) sowie die zusätzliche Energiehandelsmöglichkeit am Spotmarkt (zur Hauptzeit von 8 bis 20 Uhr) analysiert. In der Nebenzeit erhält der Anlagenbetreiber auf dem Kapazitätsmarkt eine Vergütung alleine dafür, dass er die Bereitschaft verspricht, negative Regelleistung bereitzustellen. In diesem Tarif wird also mit einer gewissen Abrufwahrscheinlichkeit Energie *aufgenommen*. Tagsüber kann zu Zeiten von hohen Strompreisen, die sich beispielsweise durch die Kombination einer hohen Lastnachfrage sowie einer geringen Windeinspeisung ergeben, das PSWuT als zusätzlicher Anbieter auftreten und die gespeicherte Energie wieder abgeben. Die gesetzten Annahmen sind dabei in der Tabelle 3 aufgelistet.

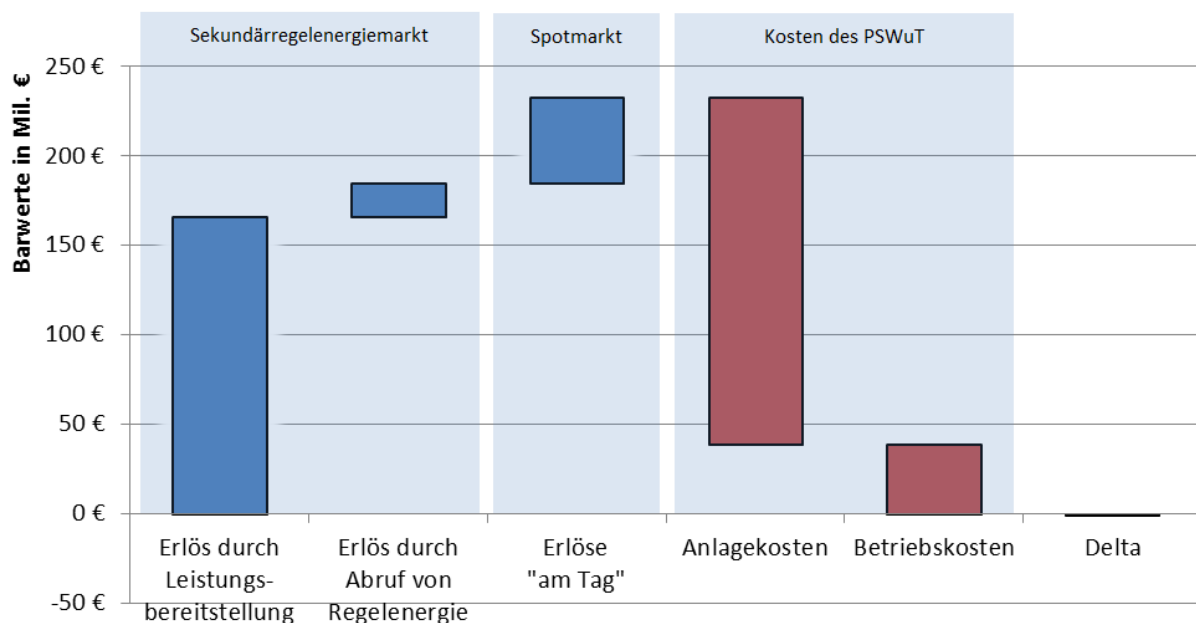
**Tabelle 3** Annahmen des Business Case; Werte orientieren sich an eigenen Berechnungen sowie an dem Preisniveau in 2010; die Präqualifikationsanforderungen werden als erfüllt vorausgesetzt.

Zinssatz	8 %
Durchschnittlicher Leistungspreis Regelenergie	11.600 €/MW/Monat
Durchschnittlicher Arbeitspreis	18 €/MWh
Durchschnittlicher Verkaufspreis (Strombörse)	60 €/MWh
Betriebskosten	49 €/MWh
Abrufwahrscheinlichkeit	20 %
Wirkungsgrad	76,3 %

Die Erlöse aus dem Versprechen, negative Regelleistung bereitstellen zu können, ergeben sich aus der maximalen Leistung des PSWuT und dem durchschnittlichen Leistungspreis. Unter Berücksichtigung der Abrufwahrscheinlichkeit, bezogen auf den Zeitraum der Nebenzeit, wird eine mittlere Energieaufnahme „pro Nacht“ angenommen, die mit einem durchschnittlichen Regelenergiearbeitspreis bewertet wird. Tagsüber ist der Verkauf der

Energiemenge, die nach Abzug der Verluste verbleibt, zu einem Preis am Spotmarkt möglich.

Auf der Kostenseite sind zum einen die Anlagekosten der Speichereinlage aufzuzählen, welche bei einem investitionsintensiven Projekt wie diesem den größten Teil ausmachen. Zum anderen fallen Betriebskosten an, die langfristig ebenfalls durch den Deckungsbeitrag abgedeckt sein müssen. Die Betriebskosten ergeben sich zu einem eher höheren spezifischen Wert, da vielmehr die Möglichkeit der Leistungsbereitstellung als die tatsächliche Inanspruchnahme im Vordergrund steht und sich damit eine recht geringe Ausnutzungsdauer im Fallbeispiel ergibt. Damit verteilen sich die Kosten auf eine geringere Energiemenge. Die Ergebnisse des Business Case sind in der Abbildung 28 grafisch aufbereitet.

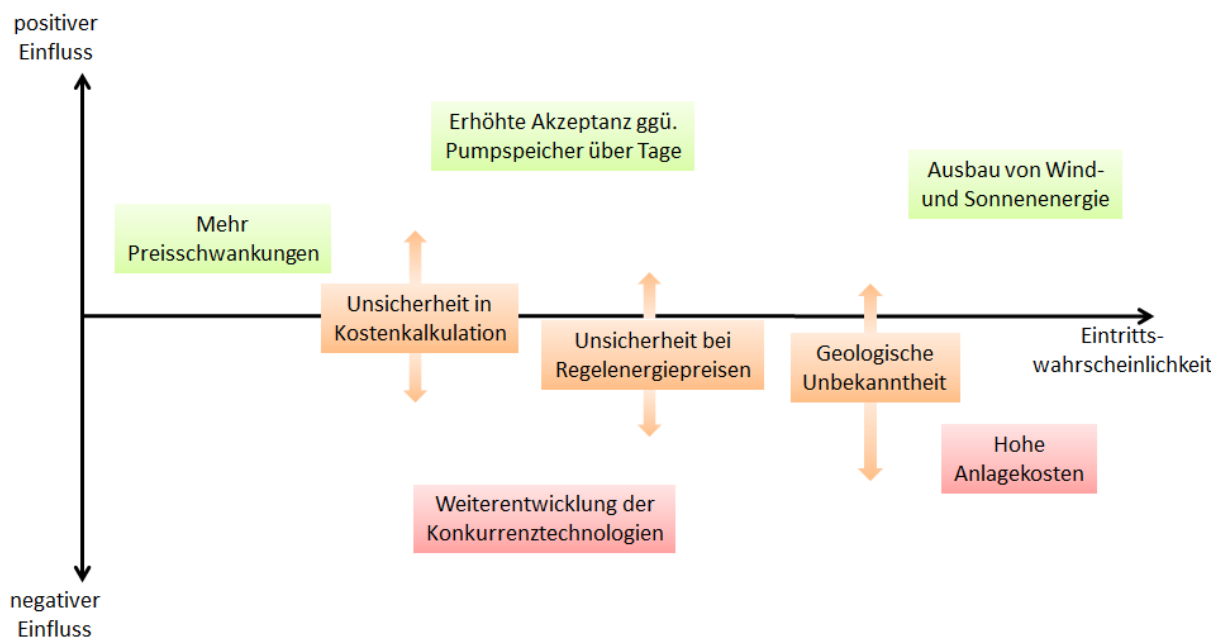


**Abbildung 28** Ergebnisdarstellung des Business Case; Grundlage der Kosten: PSWuT Grund, best case im 400 MWh Szenario.

Bei Annahme von gleichbleibenden Erlösmöglichkeiten auf dem Regelernergie- sowie Spotmarkt über die Systemlebensdauer des Speichers und Gegenüberstellung des wirtschaftlichen best case Szenario, wird ein nahezu neutrales Delta ausgewiesen. Zu beachten ist, dass ein Eintritt des wirtschaftlichen *Grenzfalls* (best case) unwahrscheinlich ist. Bei Änderungen der Annahmen zu Ungunsten des PSWuT Betreibers oder auch bei Betrachtung der Mittelwerte der Grenzfälle ist ein entsprechendes höheres negatives Ergebnis die Folge. Daraus kann geschlossen werden, dass unter den gesetzten Annahmen die reinen Marktanreize zum heutigen Tage für ein PSWuT zu gering scheinen, als dass es in den Markt eintreten würde. Allerdings müssen diese Ausführungen vor dem Hintergrund ge-

sehen werden, dass die zwei Modellbergwerke primär aufgrund einer verhältnismäßig guten Datenlage ausgewählt wurden und nicht aus dem Grund, dass sie das (voraussichtlich) höchste wirtschaftlichste Potenzial besitzen. Zudem gilt stets, dass gewählte Annahmen, politische Rahmenbedingungen sowie Einschätzungen über die zukünftigen Entwicklungen individuelle Bewertungen nach sich ziehen. Gleichzeitig schließt sich die Forderung an, dass weitere Kostensenkungspotenziale, wie z.B. unter Kapitel 3.8 aufgezählt, umgesetzt werden müssen, um wirtschaftliche Bereiche zu erreichen. [Vat11] weist darauf hin, dass höhere Erlösmöglichkeiten im Regelenergiemarkt, als in diesem Beispiel dargestellt, möglich sind. Allerdings wäre hierzu eine geänderte Anlagenkonfiguration zu wählen. Durch eine höhere Energiemenge bzw. eine höhere maximale Lade- und Entladedauer sowie mehrere Maschinensätze, was jedoch auch wieder zu einem Kostenanstieg führen würde, wären durch eine erhöhte Flexibilität weitere Business Case Überlegungen denkbar.

Auch eine Bewertung der Risiken – im Sinne von Chancen und Wagnisse – ist ein essentieller und notwendiger Bestandteil einer ganzheitlichen Sichtweise. Wesentliche Risiken sind hierfür in der folgenden Darstellung qualitativ zusammengefasst und im Folgenden erläutert.



**Abbildung 29** Qualitative Darstellung eines Risikoüberblicks bei der Errichtung eines PSWuT – Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [Lim10].

Beginnend mit den Risiken mit negativem Einflusspotenzial ist bei dem im Wandel befindlichen Speichermarkt mit weiteren Innovationen [Evo11] oder Realisierungen von

Skalen- und Lerneffekten (vgl. Kapitel 2.3) zu rechnen. Wenn Kostensenkungen möglich werden und andere Speichertechnologien ihre Marktreife erreichen, erhöht sich das Angebot an Speicherkapazitäten. Durch eine potenziell günstigere Möglichkeit würde es zu einer schlechteren Auslastung eines PSWuT kommen, was die spezifischen Kosten für den Anlagenbetreiber erhöht. Dabei wäre aus gesamtwirtschaftlichen Gründen eine günstigere Speicherstrombereitstellung durch andere Technologien zu begrüßen.

Wie im Kapitel 3 ausgeführt ergeben sich prognostizierte Anlagekosten für einen Pumpspeicher in einem stillgelegten Bergwerk, die oberhalb denen der konventionellen Pumpspeichertechnik liegen. Ein hohes Investitionsvolumen kombiniert mit einem langen Planungshorizont ist in einer stets im Wandel befindlichen Energiewirtschaft als nachteiliger Aspekt zu identifizieren.

Als eher neutraler bzw. nicht eindeutig einzuordnender Punkt ist die Unsicherheit in der Kostenkalkulation bzw. in der Abschätzung der Einflussgrößen auf die Kosten zu sehen. Hier sind Abweichungen in beide Richtungen möglich. Insbesondere bei dem Faktor Investitionskosten wären beispielsweise bei den unverhandelten, eingeholten Kostenangeboten im Hinblick auf Ausschreibungen der Leistungen Kostensenkungspotenziale denkbar. Wenngleich bisher nicht betrachtete Unwägbarkeiten die Kostenabschätzung erhöhen würden.

Als ein weiterer Punkt ist, wie oben angesprochen, die unsichere zukünftige Vergütungssituation für Regenergiepreise zu nennen, was auch bei Branchenexperten Herausforderungen bei der Bewertung für zukünftige Speicherbauprojekte darstellt [Sta11]. Eine Schmälerung dieser Erlösmöglichkeit am Kapazitätsmarkt würde die Attraktivität von Speicherprojekten deutlich verringern.

Unbekanntheiten in der Geologie des unverritzten Gebirges sind – auch durch mögliche Probebohrungen – nicht gänzlich aus dem Weg zu räumen. Abweichungen von der erwarteten Situation unter Tage sind durch zum Beispiel unerwartete Störungen möglich. Andererseits ist bei einer im Vergleich zu den Planungen besseren Geologie eine Reduktion des Ausbauraufwands möglich.

Sofern die energiewirtschaftliche und –politische Situation weiterhin ermöglicht, dass durch die erneuerbaren Energien die Einspeisung immer fluktuierender wird, ist eine Zunahme der Preisschwankungen anzunehmen.



Es existieren mehrere Ansätze, die auf eine erhöhte Akzeptanz bei den Stakeholdern gegenüber dem Bau von konventionellen Pumpspeicherwerken hindeuten. Ein wesentliches Argument ist der geringere Flächenverbrauch und die resultierende kleinere Umweltbeanspruchung. Auch die Unterstützung strukturschwächerer Regionen bzw. die Wiederbelebung von alten Bergbaustandorten, wo einst Wertschöpfung betrieben wurde, ist in diesem Zusammenhang anzuführen. Auch wenn beispielsweise Beeinträchtigungen während der Bauzeit für insbesondere die Einwohner einkalkuliert werden müssen, sind vor allem in Relation zur konventionellen Variante Vorteile zu erwarten.

Hinsichtlich des geplanten weiteren Ausbaus von Wind und Sonnenenergie gibt es verschiedene Versuche, den dafür notwendigen Speicherausbau zu quantifizieren. Auch wenn hierüber in quantitativer Hinsicht teilweise deutliche Unterschiede publik gemacht werden, ist unstrittig, dass eine erhöhte Nachfrage nach Speicherkapazität einen positiven Einfluss auf die diskutierten Technologien hat.

Die Änderungen von politischen Rahmenbedingungen sind in dieser Darstellung nicht enthalten, da sie nicht in das obige Schema zu implementieren sind. Jedoch können einzelne Maßnahmen oder Gesetzesänderungen einen maßgeblichen positiven oder negativen Einfluss bewirken. Als Beispiel ist die Einführung bzw. Befreiung von Netznutzungs-entgelten für den Speicherstrombezug zu sehen. Auch die aktuell diskutierte Einführung von Fördermechanismen für Speicher kann die Bedingungen erheblich verändern. Da der Versuch einer allgemeingültigen Darstellung unternommen wurde, sind standortspezifische Risiken wie die erläuterte Wasserbehandlung am Standort Pöhla hier nicht weiter vertieft.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass verschiedene Märkte und Erlösmöglichkeiten für Stromspeicher offen stehen. Die hier vorgestellte Technologie mit eher höheren Kosten erreicht in heutiger Zeit mit den prognostizierten Kostenbetrachtungen (Mittelwert aus worst und best case) unter den gesetzten Annahmen keinen Bereich der Wirtschaftlichkeit. Dabei stehen die Märkte im Wandel und Unsicherheiten über zukünftige Entwicklungen machen eine Investitionsentscheidung für ein langfristiges Objekt zu einer komplexen Fragestellung. In der Praxis kann von einer technischen und wirtschaftlichen Optimierung des gesamten Kraftwerksparks inklusive der Berücksichtigung des bestehenden Kraftwerksportfolios ausgegangen werden. Zudem besitzt jeder Investor je nach Risiko-grad und bestehenden Kraftwerkspark sowie seiner Zukunftserwartung im Hinblick auf

Marktentwicklung und politischen Rahmenbedingungen einen individuellen Bewertungsmaßstab.

## **5. Akzeptanzforschung**

In den Fünfzigern bis Mitte der sechziger Jahre war die gesellschaftliche Einstellung der Bevölkerung noch vorrangig positiv in Bezug auf die Technik und neue technischen Entwicklungen geprägt. Die Modernisierung als Programm der Gesellschaft traf vorrangig auf Akzeptanz. Diese Einstellung hat sich in den folgenden Jahren deutlich geändert. In diesem Punkt hat die Gesellschaft eine Art Revolution durchgemacht, die sich nicht mehr umkehren lässt [Ren97]. Eine zunehmende ambivalente Haltung gegenüber neuen Technologien hat sich herauskristallisiert, da nicht nur die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Potenziale der Technik kritisch diskutiert wurden, sondern vor allem die möglichen Risiken und negativen Folgen, die mit dem Einsatz neuer Technologien einhergehen können, immer stärker in das Bewusstsein der Bevölkerung rückten [Fis08]. Ein Beispiel hierfür liefern die intensiven Auseinandersetzungen mit der Technikakzeptanz in den achtziger und neunziger Jahren im Rahmen der gesellschaftlichen Debatten über die unkalkulierbaren Risiken der Kernenergie, der neuen Informations- und Kommunikationstechnik sowie der Gentechnologie [Kep09]. Der technische Wandel wurde kritischer hinterfragt im Hinblick auf soziale Folgen (Angst vor dem technischen Wandel im Hinblick auf den Abbau von Arbeitsplätzen) und in Bezug auf die ökologischen Auswirkungen.

Vor diesem Hintergrund gewinnt die Untersuchung der Technikakzeptanz bzw. die Akzeptanz von großtechnischen Anlagen immer mehr an Bedeutung, da die Akzeptanz als solches für derartige „externe Techniken“ [Ren97] in der Bevölkerung nicht mehr als gegeben vorausgesetzt werden kann. Wie groß der Einfluss der Akzeptanz oder das Nicht-Vorhandensein einer zustimmenden Haltung in der Gesellschaft für die Entwicklung einer neuen Technologie sein kann, wurde beispielsweise anhand der kontrovers geführten Diskussionen und der Proteste gegen die Kernenergie sichtbar [Fis08].

Im folgenden Abschnitt werden die Akzeptanzbereiche, einige psychologische Aspekte, die das Akzeptanzverhalten beeinflussen als auch die Methoden der Akzeptanzforschung skizziert.

## 6. Elemente der Akzeptanzforschung

### 6.1 Akzeptanzbereiche

Die Akzeptanzforschung versucht zu ermitteln, wie groß die Wahrscheinlichkeit einer positiven Reaktion auf ein bestimmtes Ereignis (z. B. Einführung einer neuen Technologie im Energiesektor) in der Zukunft ist. Im Kern geht es darum, auf Basis gegenwärtiger Einstellungen auf zukünftige Verhaltensweisen zu schließen [End86]. Die Akzeptanz wird dabei nicht als eine passive Duldung „von oben“ verordneten technischen Neuerungen verstanden, sondern vielmehr als „die positive Aufnahme einer Veränderung der physischen Umwelt [...] nachdem eine bewußte Auseinandersetzung mit dem Gegenstand der Veränderung stattgefunden hat.“[Ren86] Insofern versucht man im Rahmen der Akzeptanzforschung auch die Wahrnehmungs- und Bewertungsprozesse von Individuen und sozialen Gruppen nachzuvollziehen und zu analysieren [Ren86]. Die methodologischen Grundlagen der Akzeptanzforschung werden zusammenfassend in folgender Tabelle skizziert:

**Tabelle 4** Methodologische Grundlagen der Akzeptanzforschung – Quelle: Eigene Darstellung nach [End86].

<b>Akzeptanzforschung</b>	
<b>Forschungsziel</b>	Ermittlung der Wahrscheinlichkeit einer positiven Reaktion auf einen bestimmten Stimulus
<b>Forschungsansatz</b>	Schluss von gegenwärtigen Einstellungen auf zukünftige Verhaltensweisen
<b>Forschungsgegenstand</b>	(subjektive) Einstellung von Menschen und evtl. Prognosen von Verhalten
<b>Erhebungseinheit</b>	Individuum
<b>Methoden</b>	Zumeist Befragungen, selten Experimente

Für eine differenziertere Betrachtung der Technikakzeptanz werden in der Akzeptanzforschung unterschiedliche Technik- bzw. Akzeptanzbereiche betrachtet [Ren86], [Ren05]:

1. *Die konsumtive Akzeptanz:* Darunter versteht man die Aufnahme (Nachfrage) derjenigen Technologien, die als technische Geräte im privaten Haushalt (z. B. HiFi- und Audio-Geräte, Küchengeräte, Autos etc.) und zur privaten Lebensführung eingesetzt werden. Mit diesen Produkt- und Alltagstechniken gibt es so gut wie keine Akzeptanzprobleme bzw. stoßen diese nur selten auf prinzipielle Ablehnung.

Wenn es Konflikte gibt konzentrieren sich diese meistens auf die Haftung (Kaufverträge) oder die Qualität der Technologie.

2. *Technologieakzeptanz am Arbeitsplatz:* Unter diesem Begriff werden Technologien zusammengefasst, die am Arbeitsplatz zur Herstellung von Produkten oder Dienstleistungen im kommerziellen Rahmen benutzt werden. Auch in diesem Bereich gibt es in den meisten Fällen keine Technologieproteste. Falls es zu Akzeptanzproblemen bei der aktiven Nutzung der Technik durch die Beschäftigten kommt, werden häufig Fragen zur Rationalisierung (Wegrationalisierung der Arbeitsplätze), Fragen zur Mitbestimmung über den Technikeinsatz oder Fragen der Qualifikation und des Trainings thematisiert [Ren05].
3. *Die Akzeptanz von externen Techniken:* Mit diesem Begriff werden diejenigen Technologien in Verbindung gebracht, denen der Mensch als Anwohner „ungefragt“ ausgesetzt wird [Ren86]. Dieser Bereich bildet den Brennpunkt für markante Akzeptanzprobleme. So sind Kernkraftwerke, Chemiewerke oder Sondermülldeponien nur einige Beispiele für großtechnische Anlagen (externe Techniken), die zunehmen in Legitimationsschwierigkeiten geraten. Dabei tritt oftmals eine Dichotomie zwischen Produkt und Produktion auf. Es gibt kaum eine Energieform, die mehr geschätzt wird als der elektrische Strom und gleichzeitig gibt es kaum eine Anlage, die negativer eingeschätzt wird als die Kernkraftwerke [Ren86]. Frei nach der Formel, die der Sozialpsychologe Röglin schon vor einigen Jahren formulierte: „Wir lieben die Produkte der Industriegesellschaft, aber hassen die Art, wie sie hergestellt werden.“ [Ren05] Ansatzpunkte zur Kritik an externen Techniken bieten zum einen die fehlenden Möglichkeiten der Anrainer sich an der Gestaltung ihrer physischen Umgebung maßgeblich zu beteiligen und zum anderen das Misstrauen in Wirtschaft, Politik und Genehmigungsbehörden, dass von derartigen Anlagen auch wirklich keine Gefährdungen für die Umwelt oder der Gesundheit ausgehen [Ren86]. Aber die Konflikte beziehen sich nicht nur auf mögliche technologiebezogene Vor- und Nachteile einer großtechnischen Anlage, sondern konzentrieren sich auch auf Fragen nach der zugrunde gelegten Vision gesellschaftlicher Entwicklung. Vor diesem Hintergrund können z. B. Fragen im Bereich der Energieversorgung wie folgt formuliert werden: Wohin will sich die Gesellschaft im Energiesektor bewegen, was sind die Leitbilder der Gesellschaft für die Energieversorgung der Zukunft, welche technische Entwicklung ist für die Gestaltung einer wünschenswerten Zukunft die angemessene? Damit in Verbindung steht auch die Sor-

ge um Politik- oder Systemversagen sowie die Erfahrung von Verteilungsungerechtigkeiten bei der Aufteilung von Nutzen und Lasten auf unterschiedliche Regionen oder Bevölkerungsteile. Die „economy of scale“ sprechen aus finanzieller Sicht dafür, sog. externe Techniken zu zentralisieren, wodurch es allerdings zu einer gewissen Ungleichverteilung von Nutzen und Lasten kommt. Die daraus resultierenden Ungerechtigkeiten werden entsprechend in den sozialen als auch in den politischen Bereichen als Konfliktstoff virulent [Ren05].

Inwieweit es in den drei Technikbereichen zu Akzeptanzproblemen in der Bevölkerung kommt, ist auch davon abhängig über welchen Allokationsmechanismus die Verbreitung der Techniken gesteuert wird. Im Bereich der Produkt- und Alltagstechnik ist es vorrangig der Markt, der die Allokationsfunktion übernimmt. Im Gegensatz dazu obliegt es den Unternehmen zu entscheiden, welche Arbeitstechnik sie in den einzelnen Abteilungen einsetzen wollen. Die Entscheidungen über externe Techniken werden häufig durch das Zusammenspiel von Wirtschaft, Politik und öffentlichen Reaktionen beeinflusst. Es gibt konventionelle Verfahren, wie Abstimmungen, Genehmigungsverfahren oder Planfeststellungsverfahren, sowie die unkonventionellen Verfahren, die von Bauplatzbesetzungen bis hin zu Protestbewegungen der Bevölkerung reichen [Ren05]. Eine zusammenfassende Darstellung zu wesentlichen Akzeptanzparametern in den drei Technikbereichen findet sich in der folgenden Tabelle.

**Tabelle 5** Akzeptanzparameter der drei Technikbereiche – Quelle: [Ren97].

<b>Technikbereich</b>	<b>Allokationsverfahren</b>	<b>Akzeptanztest</b>	<b>Konfliktthemen</b>
<b>Produkt- und Alltagstechnik</b>	Markt	Nachfrage, Kauf	Qualität, Haftung
<b>Arbeitstechnik</b>	Unternehmen	Aktive Nutzung durch Beschäftigte	Mitbestimmung, Anpassungsgeschwindigkeit, Qualifikation
<b>Externe Technik</b>	Politik, Unternehmen	Konventionelle Verfahren (Abstimmung)	Interessen, Rechte, Zuständigkeiten
		Unkonventionelle Verfahren (Proteste)	Legitimität vs. Legalität, Verzerrung der organisierten Interessen

In den Ausführungen zu den einzelnen Akzeptanzbereichen ist deutlich geworden, dass es vor allem im Bereich der externen Techniken zu massiven Akzeptanzproblemen bzw. zur Akzeptanzverweigerung kommen kann. Welche Aspekte unter psychologischen Ge-

sichtspunkten das Akzeptanzverhalten der Menschen beeinflussen und welche Methoden zur Messung der Akzeptanz auf gesellschaftlicher Ebene herangezogen werden, ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

## **6.2 Akzeptanzverhalten**

Unter psychologischen Gesichtspunkten gibt es einige zentrale Wahrnehmungsmuster, die das Akzeptanzverhalten von Menschen determinieren [Ren86]:

- *Die Angst vor dem Verlust zukünftiger Handlungsmöglichkeiten:* Wenn die Menschen davon überzeugt sind, dass ihre eigenen oder die Handlungsmöglichkeiten anderer in der Zukunft eingeschränkt werden könnten, versuchen sie alternative Handlungsstrategien zu entwickeln oder auf andere Personen so einzuwirken, dass die zur Verfügung stehenden Optionen zur Zielerreichung überdacht werden. Ein Aspekt, der im Bereich der Energieversorgung über Kernkraftwerke, häufig aufgegriffen wird, ist Endlagerung von Atommüll bzw. Eignungsprüfung von Lagerstätten, die in die engere Wahl gezogen werden.
- *Die Sicherstellung der Beherrschbarkeit von Technologien:* So sehr man die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Potenziale der Technik schätzt und nutzen will, gibt es auf der anderen Seite auch die Befürchtung, durch neue Technologien in seinen Handeln und Verhalten eingeschränkt und reglementiert zu werden. Diese Ängste richten sich primär an der Vorstellung aus, nicht mehr Herr der eigenen technologischen Entwicklung zu sein, als an der Undurchschaubarkeit von Technologien. Beispielsweise gehen von Haushaltsgeräten in der Regel keine angstausslösenden Impulse aus, da die Benutzer die (völlige) Kontrolle über den „Ein- und Ausschalter“ bzw. über die Bedienung haben. Insofern bildet die Beherrschbarkeit von bestimmten Technologien den zentralen Angelpunkt für die Technikakzeptanz.
- *Bedrohung von Privatheit:* Des Weiteren treten oftmals Akzeptanzproblem bei Technologien auf, die als Eingriff in das Privatleben wahrgenommen werden. Dies gilt auch für Großtechnologien, bei denen weitreichenden staatlichen Kontrollen nicht auszuschließen sind. Derartige Technologien stoßen schnell auf Akzeptanzgrenzen, da die Menschen besonders in der heutigen Zeit zunehmend sensibel auf die Bedrohung der eigenen Privatheit reagieren.
- *Bedrohung der Arbeitstätigkeit:* Menschen stehen Technologien besonders skeptisch gegenüber, wenn durch ihren Einsatz die Gefahr besteht, dass die Prestige des ei-

genen Arbeitsplatzes leidet oder sogar der eigene Arbeitsplatz gefährdet ist. Die Akzeptanz für Technologien am Arbeitsplatz steigt umso mehr, je mehr sie das eigene Prestige im sozialen Umfeld erhöht und je mehr sie für monotone und eintönige Tätigkeiten eingesetzt wird.

- *Verlust von Vertrauen in die Träger von Innovationen:* Inwieweit eine Technik auf Akzeptanz bei den Menschen stößt, ist auch davon abhängig, in welchem Umfang technologische Informationen vermittelt werden. Je weniger Möglichkeiten die Leute haben, durch eigene Erfahrungen Informationen zu überprüfen, desto größer ist der Anreiz für die Informanten zur Manipulation von Meinungen und desto leichter ist es widersprüchliche Meinungen in technologische Diskussionen einzubringen, da man diese vor der Öffentlichkeit nicht nachzuweisen braucht oder auch kann. Allerdings reagieren die Stellvertreter der öffentlichen Meinung aus demselben Grund auch sehr empfindlich auf vermeintliche Fehlinformationen und Informationsdefizite. Die Debatten im Zuge der Akzeptanzkonflikte bezüglich externer Techniken waren nicht zuletzt auch vom Spannungsverhältnis zwischen unabdingbarem Vertrauensvorschuss und faktischem Vertrauensentzug geprägt. Denn die Akzeptanz der Anrainer von großtechnischen Anlagen ist im besonderen Maße von sachgerechten und ehrlichen Informationen der Betreiber und Genehmigungsbehörden abhängig.

Unter Zuhilfenahme der aufgeführten Aspekte sollte es in Zukunft möglich sein, im Voraus mögliche Akzeptanzkonflikte bei neuen Technologien zu diagnostizieren und gegebenenfalls entsprechende Gestaltungsvorschläge für die Einführung von Innovationen zu erarbeiten. Des Weiteren sollte man sich auch gewahr sein, dass die aufgeführten Akzeptanzmechanismen viel zu fundamental und zentral im menschlichen Bewusstsein verankert sind, als dass man sie durch Propaganda, Public Relations oder anderen Instrumenten der Öffentlichkeitsarbeit quasi manipulativ überwinden kann. Vielmehr sollte der Handlungsspielraum genutzt werden, der durch die Anpassungsfähigkeit der Technologien für verschiedene Zwecke oder Einsatzfelder und deren organisatorischen Umfeld vorgegeben ist [Ren86].

In der Analyse des Akzeptanzverhaltens sollte auch Berücksichtigung finden, dass in Teilen der Bevölkerung ein zunehmender Akzeptanzverlust für kollektiv bindende Entscheidungen der Politik zu verzeichnen ist. In der heutigen Gesellschaft ist es zweifelhaft, ob die Selbstverständlichkeit mit der politische Entscheidungen als notwendige Kompro-



misslösung in widerstreitenden Interessen angesehen werden, im ausreichenden Maße in der Bevölkerung vorhanden ist. In diesem Zusammenhang steht nicht das politische Entscheidungssystem als solches unter Legitimationszwang, sondern die Art, wie das System von den gesellschaftlichen Kräften ausgefüllt wird, steht im Mittelpunkt des Interesses. Auch wenn die demokratischen Institutionen und die Form der Prozesssteuerung von politischen Entscheidungen mehrheitlich als adäquat und sinnvoll betrachtet werden, wird jedoch die Neutralität und Kompetenz der personalen Träger dieser Institutionen in Zweifel gezogen. Diese Zweifel werden beispielsweise genähert durch das zunehmende öffentliche Misstrauen gegenüber angeblich neutralen Sachverständigen oder gegenüber scheinbaren Sachentscheidungen, die sich im Nachhinein als latente Interessengruppendurchsetzung entpuppten. Um eine Brücke zwischen dem politischen System und den Bürger zu schlagen, gilt es die Prozesse der Entscheidungsfindung unter der Berücksichtigung verschiedener Interessen transparent zu gestalten. Darüber hinaus müssen die Mitglieder des politischen Systems über Feedbackprozesse mit den Wünschen und Vorstellungen der Bürger vertraut gemacht werden, da der Sanktionsmechanismus der Bürger über Wahlen oder Wiederwahlen ihrem Unmut Ausdruck zu verleihen, als Instrument der politischen Einflussnahme nicht ausreichend erscheint. Allerdings ist die Partizipation der Bürger am Gesamtsystem der Entscheidungsfindung nicht als Allheilmittel zur Lösung von politischen Problemen anzusehen. Durch die Mitbestimmung der Bürger am politischen Entscheidungsprozess können zunächst einmal nicht alle Zielkonflikte oder Interessengegensätze aufgelöst werden. Es stellt sich unter anderem die Frage, welche Bürger von der Standortwahl großtechnischer Anlagen betroffen sind. Diese Frage ist nicht in jedem Fall leicht zu beantworten, da die Betroffenen aufgrund der in sich verflochtenen Wirtschaftsstruktur nicht eindeutig zu bestimmen sind. Wer sind beispielsweise die Betroffenen, wenn um den Bau eines Kernkraftwerkes geht und in welcher Weise sollten die Stromnutzer als Betroffene zu Wort kommen? Von der Umweltbelastung eines Kraftwerks sind nicht nur die unmittelbaren Anrainer betroffen, sondern möglicherweise auch Bürger in weit entfernten Landstrichen. Darüber hinaus ist die Volksmeinung keineswegs einheitlich. Auch wenn alle Mitglieder einer Bürgerinitiative (Gegner von externen Techniken) eine bestimmte Lösung vorantreiben, so gibt es doch andere Gruppen (Befürworter von externen Techniken), die meist schwerer zu organisieren sind, denen ein andere Lösungsansatz lieber wäre. Man wird daher auch nach Einführung der Partizipation von Bürgern nicht umhin können, gewisse Konflikte zwischen den einzelnen Interessengruppen zugunsten der einen oder anderen Seite durch politische Ent-

scheidungen zu lösen. Die Akzeptanz für sogenannte externe Techniken wird immer mehr davon abhängen, inwieweit man in der Zukunft Technologieproteste als Herausforderung und Chance ansieht und nicht als eine lästige Begleiterscheinung des notwendigen technologischen Wandels begreift [Ren86].

### 6.3 Methoden der Akzeptanzforschung

Im Rahmen dieser Untersuchungen steht die Akzeptanz der Pumpspeichertechnologie unter Tage bzw. die Akzeptanz im Bereich der externen Techniken im Fokus. Wie bereits angedeutet, zeichnen sich besonders in diesem Technikbereich Akzeptanzprobleme ab. Allerdings stehen zur wissenschaftlichen Erfassung bzw. Messung der Technikakzeptanz (noch) keine allgemein gültigen Instrumente zur Verfügung. Daher versucht man auf geeignete Indikatoren zurückzugreifen, mit deren Hilfe auf indirektem Wege die Technikeinstellungen und -akzeptanz gemessen werden kann [Ren97]. Einige Indikatoren, die zur Messung der Akzeptanz auf gesellschaftlicher Ebene herangezogen werden, sowie untersuchungsleitende Fragestellungen in Bezug auf ein Pumpspeicherwerk unter Tage (PSWuT) werden in der folgenden Tabelle aufgeführt [Fis08]:

**Tabelle 6** Indikatoren und untersuchungsleitende Fragen zur Messung der Technikakzeptanz – Quelle: [Fis08], bearbeitet.

Indikatoren	Untersuchungsleitende Fragestellungen
<b>Einstellung</b> zur Technik allgemein und zur PSWuT-Technik (falls vorhanden)	Empfinden die Befragten den allgemeinen technischen Fortschritt als Fluch oder Segen? Macht die Technik das Leben der Menschen immer einfacher oder immer schwieriger? Wie ist die Einstellung zur Energietechnik und zur PSWuT-Technik im Speziellen?
<b>Interesse</b> an der Technik im Allgemeinen und im Speziellen (PSWuT)	Verfolgen die Befragten regelmäßig neue technologische Entwicklungen (Computer, Haushaltsgeräte, Autos etc.)? Besteht bei den Befragten ein Informationsbedarf zu PSWUT-Technologien?
<b>Wissen</b> über die Technik	Über welches Wissen verfügen die Befragten zum Thema PSWuT? Wie zugänglich und verständlich ist das abrufbare Wissen über PSWuT?
<b>Risikoperzeption</b>	Welche Gefahren birgt die Technik und wie werden sie kommuniziert? Welche Umweltauswirkungen sowie sonstige Effekte kann die Technik zur Folge haben? Welche Folgen bestehen für nachfolgende Generationen? Wie sicher sind die Erkenntnisse über die Technologie? Wird die Technik als sog. NIMBY-Projekt wahrgenommen?
<b>Wahrnehmung</b> des individuellen und gesellschaftlichen <b>Nutzens</b> und der <b>Kosten</b>	Welchen Nutzen hat die Technik? Welche energiepolitische und wirtschaftliche Notwendigkeit besteht in der Technik? Welche Alternativen gibt es und wie sind deren Impacts?
<b>Wortassoziationen</b> und gedankliche <b>Verknüpfungen</b> im Zusammenhang	Was assoziieren die Befragten mit dem Begriff PSWuT? Verknüpfen die Befragten den Begriff PSWuT mit der Stabilität der Stromnetze

Indikatoren	Untersuchungsleistende Fragestellungen
menhang mit der Technik	oder mit dem Ausbau von erneuerbaren Energien?
<b>Einfluss der Medien</b>	Aus welchen Informationsquellen sind den Befragten PSW-Technologien bekannt? Welche Informationsquellen sind besonders sinnvoll, wenn Personen sich über PSWuT informieren wollen? Besteht ein Zusammenhang zwischen der Informationsquelle und der Einstellung zu PSWuT?
<b>Vertrauen</b> in die Technik	Wie hoch ist das Vertrauen der Befragten in die Informationsquellen/Medienberichterstatter zum Thema PSWuT (Kompetenzen, persönliche Interessen, Sensibilität, Glaubwürdigkeit, etc.)? Wie groß ist der individuelle Bedarf nach Sicherheitsstandards für Pumpspeicherkraftwerke von Anwohnern/beteiligten Akteuren/ Interessierten etc.? Wie vertrauenswürdig sind die Energieversorger/Betreiber der PSWuT-Anlagen (Transparenz der Unternehmenspolitik, Umweltbewusstsein, Kontrollen, Öffentlichkeitsarbeit, Image, etc.) in der bisherigen Einschätzung?

Wenn man versucht z.B. mittels quantitativer Befragungsmethoden (geschlossene Fragen) sowie (eher seltener) Feldexperimenten die Akzeptanz für externe Techniken zu erfassen, dann sollte man bei den Erhebungen auch die soziodemografische Merkmale der Personen, wie beispielsweise den Bildungsstand, das Alter sowie das Geschlecht, nicht außer Acht lassen. Soziodemografische Merkmale der Befragten als auch bestimmte Wertorientierungen, wie z. B. das Umweltbewusstsein, können einen Einfluss auf die Akzeptanzbildung haben. Inwieweit quantitative oder qualitative Methoden als Messinstrumente in der Akzeptanzforschung eingesetzt werden, ist abhängig vom Erkenntnisinteresse, das mit den jeweiligen Studien verbunden ist und dem kulturellen, politischen, ökonomischen, rechtlichen oder ökologischen Kontext, in der Studie eingebunden ist [Fis08].

#### **6.4 Chancen und Grenzen der Akzeptanzforschung**

Die empirischen Untersuchungen zur Akzeptanzbildung, besonders Befragungen, konzentrieren sich in der Regel auf die gegenwärtigen Einstellungen und Meinungen der Individuen mit bestimmten raumzeitlich begrenzten Wertorientierungen im Rahmen eines ausgewählten ökonomischen, ökologischen oder politischen Kontextes. Um aus den gewonnen Daten Rückschlüsse auf des zukünftige Handeln der Menschen ziehen zu können, sollten möglichst viele konstituierenden Randbedingungen in die Prognosen Eingang finden. Diese konstituierenden Randbedingungen umfassen z. B. Einflussfaktoren aus der Entwicklung von benachbarten Technologien, richtungsweisende Entscheidungen in der Energiepolitik (Ausbau der erneuerbaren Energien) oder Aspekte, die sich auf

die zukünftigen (ungewissen) Auswirkungen der Pumpspeichertechnologie unter Tage für weitere Energiekonzepte einer Region oder ganzer Landstriche beziehen [End86], [Fis08]. Da diese konstituierenden Randbedingungen sehr vielschichtig sind, ist eine genaue Festlegung *aller* Gesichtspunkte, die für die Akzeptanz eines Pumpspeicherwerkes unter Tage relevant sind kaum möglich. Darüber hinaus gibt es nur wenig gesichertes Wissen über die Zusammenhänge zwischen gegenwärtigen Einstellungen und späteren Verhalten der (befragten) Individuen [End86]. Alle diese Aspekte sprechen dafür, dass die Prognosekraft der Akzeptanzforschung als sehr begrenzt angesehen werden kann. Inwieweit die Untersuchungsergebnisse wirklich Gültigkeit besitzen, wird sich häufig erst dann zeigen, wenn die prognostizierten Ergebnisse tatsächlich eingetreten sind [Fis08].

Ein weiteres Instrument zur Akzeptanzmessung sind Feldexperimente, die in der Praxis häufig als Modellversuche realisiert werden. Innerhalb eines Modellversuchs wird in einem überschaubaren Wirkungssegment geprüft, inwieweit beispielsweise eine Innovation auf Akzeptanz stößt, bevor man sie in weiteren Segmenten einführt. Um die Prognosekraft der Ergebnisse eines solchen Modellversuchs zu gewährleisten bzw. um im Vergleich zu den Resultaten einer Befragung die Wahrscheinlichkeit einer sicheren Prognose zu erhöhen, sollte der Versuch unter einer sehr sorgfältigen methodologischen Kontrolle aller wirksamen Akzeptanzfaktoren erfolgen [End86].

Ein weiteres Problem empirischer Studien im Rahmen der Akzeptanzforschung stellt die Generalisierbarkeit der Ergebnisse dar. Die Resultate einer Studie, die in einer ausgewählten Region durchgeführt wurden, in der z.B. das Meinungsbild oder die beobachteten Handlungen bereits durch positive oder negative Berichterstattungen seitens bestimmter Akteure oder Interessenverbände beeinflusst wurde, kann in der Regel nicht repräsentativ für die öffentliche Meinung in der Bevölkerung sein [Fis08].

Neben den aufgezeigten Schwächen der Akzeptanzforschung gibt es aber auch durchaus gute Gründe, die für eine frühzeitige Erforschung der Akzeptanz neuer Technologien sprechen. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass die formale Legalität politischer Entscheidungen z. B. für großtechnische Anlagen fehlende Legitimität in Bevölkerung nicht ersetzen kann. Die Meinung und Einstellung der Öffentlichkeit zu externen Techniken kann durchaus einen Einfluss auf die Entwicklung oder Verbreitung derartiger Techniken haben. Insofern wird die Akzeptanzforschung zunehmen zu einem wichtigen Instrument der Politikberatung. Politische Entscheidungen, welche die Einflussnahme der breiten

Öffentlichkeit verkennen, können auf vehemente Ablehnung in der Bevölkerung stoßen, die letztendlich eine Realisierung der Entscheidung im besten Falle behindern und im schlimmsten Falle verhindern kann. Politische Akteure sollten sich der Methoden der Akzeptanzforschung bedienen, um frühzeitig eine Einschätzung zur Akzeptanz neuer Technologien in der Bevölkerung zu erhalten. Dieses bietet mehrere Handlungschancen [Fis08]:

- die vorhandene Akzeptanz kann als Legitimitätskriterium für politische Entscheidungen dienen,
- die vorhandene Akzeptanz untermauert die politische und soziale Stabilität [End86],
- gerade im Frühstadium von großtechnischen Projekten, ist die Akzeptanz als subjektive Einstellung wandel- und beeinflussbar,
- der Grad der gegenwärtigen Akzeptanz sensibilisiert und steuert die Kommunikation und den Umgang mit großtechnischen Projekten.

Wirkliche Handlungschancen bieten die genannten Aspekte nur dann, wenn in der Öffentlichkeit bereits eine gewisse Meinungsbildung zu Innovationen stattgefunden hat. Gerade bei neuen, hochtechnisierten Entwicklungen, wie z. B. im Fall einer neuen Pumpspeichertechnologie unter Tage, ist es möglich, dass das Wissen sowie die Einstellung zu dieser Technologie in der Bevölkerung noch nicht ausreichend ausgeprägt sind bzw., dass eine Meinungsbildung noch nicht stattgefunden hat. In einem solchen Szenario bietet sich allerdings auch die Chance im Zusammenhang mit der Akzeptanzforschung die Bürger über den Stand der neuen Pumpspeichertechnologie unter Tage zu informieren bzw. Aufklärungsarbeit zu leisten [Fis08]. Denn nicht zuletzt ist die Akzeptanz von großtechnischen Anlagen, wie einem Pumpspeicherwerk unter Tage, im besonderen Maße von sachgerechten und ehrlichen Informationen der Betreiber und Genehmigungsbehörden bereits im Frühstadium der Planung solcher Großprojekte abhängig.

### **6.5 Subjektive Risikowahrnehmung und Akzeptanzbeurteilung**

Die gesellschaftliche Akzeptanz von externen Technologien, die oft auch in einem Atemzug mit dem Begriff „Risikotechnologie“ in Verbindung gebracht werden, wird nicht nur von bestimmten Indikatoren, die man meist über Befragungen erfassen will, beeinflusst, sondern ebenfalls im zunehmenden Maße von der subjektiven Risikoeinschätzung der Individuen. Der Begriff „Risikotechnologie“ steht für ein großtechnisches Projekt, „dem

ein hohes Katastrophenpotential zugeschrieben wird, dessen Risiken als aufgezwungen, ungleich verteilt und nur unzureichend kontrollierbar angesehen werden.“[Ren97] Der sogenannte NIMBY-Effekt („Not In My Back Yard“) spielt in diesem Zusammenhang eine bedeutende Rolle. Er beschreibt ein Szenario, in dem Personen, die sich in (unmittelbarer) Nähe zu großtechnischen Anlagen befinden, diese aufgrund der stärker subjektiv wahrgenommenen Risiken weitaus kritischer beurteilen als Personen, die keine räumliche Nähe und somit persönliche Betroffenheit zur Technologie haben [Fis08/2]. Derartige NIMBY-Projekte, die zwar von einer überwiegenden Zahl von Einwohnern als wichtig und sinnvoll angesehen werden, werden entweder erheblich verzögert oder lassen sich nicht verwirklichen, da gegen sie lokaler Widerstand erwächst [Fre97].

Das NIMBY-Problem basiert auf der ungleichen Verteilung von Nutzen und Kosten der betrachteten Projekte. Die Kosten treten häufig konzentriert bei einer lokalen Minderheit (Betroffene) auf. Den Einwohnern der Gemeinde oder Region, in der das großtechnische Projekt gebaut werden soll, erwachsen mitunter starke Nachteile (z. B. Lagerung von belasteten (toxischem) Abraums, Gefährdung der Trinkwasserversorgung, Eingriffe in das Landschaftsbild oder Natur- sowie Landschaftsschutzgebiet). In diesem Zusammenhang kann auch von LUPAE oder „Lokal unerwünschten Projekten, Anlagen und Einrichtungen“ in Analogie zu LULU, d. h. „Locally Unwanted Land Uses“ gesprochen werden. Die Bürger der Standortgemeinde, in der das Projekt errichtet werden soll, lehnen aufgrund der befürchteten Nachteile den Bau der Anlage ab und leisten politischen Widerstand (z. B. in Form von Bürgerinitiativen). Auf dem Mehrheitsprinzip aufbauen könnten übergeordnete politische Instanzen wie der Bund oder das Land die Entscheidung für den Standort rechtfertigen. Allerdings stellen sich die Kosten dafür in demokratischen Gesellschaften regelmäßig als zu hoch heraus. Auf der einen Seite gehört es zur Demokratie vernünftig begründeter Anliegen von Minderheiten Beachtung zu schenken und auf der anderen Seite können jedoch die aus dem Widerstand der lokalen Bevölkerung resultierenden Projektkosten nicht außer Acht gelassen werden. Aus diesen Gründen verzichtet man zunehmend darauf, LUPAE gegen den Widerstand der lokalen Bevölkerung durchzusetzen. Für die Durchführung von großtechnischen Anlagen, die als NIMBY-Projekt in der Bevölkerung wahrgenommen werden, bedarf es somit der Zustimmung der Standortgemeinde [Fre97]. Nicht zuletzt ist die Akzeptanz von zukunftsweisenden Entscheidungen, von innovativer, auch risikobehafteter Technik im starken Maße von der freiwilligen Einsicht durch die Öffentlichkeit abhängig [Ren97].

Zur Lösung des NIMBY-Problems werden oftmals Kompensationszahlungen an die betroffenen Bürger ins Auge gefasst. Die Nutzen und Kosten des Projekts sollen derart umverteilt werden, dass die besonders negativ betroffenen Bürger der Standortgemeinde für die erwarteten Schäden kompensiert werden, sodass neben den bisherigen Befürwortern auch die monetär kompensierten Bürger der Standortgemeinde dem Projekt positiv gegenüber stehen. Allerdings können Geldkompensationen nur dann ihr Ziel erreichen, wenn nur der tatsächlich durch das Projekt zu erwartende Schaden entgolten wird. Auf der anderen Seite haben jedoch die Einwohner der Standortgemeinde einen Anreiz den erwarteten Schaden zu übertreiben, um auf diese Weise möglichst hohe Kompensationszahlungen zu erhalten. Wie empirischen Studien zeigen, sind Kompensationszahlung nur bedingt zur Überwindung gesellschaftlicher Akzeptanzproblem geeignet, da sie häufig empört zurückgewiesen oder sogar grundsätzlich abgelehnt werden. Wenn in einer Gemeinde die Bereitschaft besteht, im Sinne des Gemeinwohls die Standortwahl für eine externe Technik zu akzeptieren, dann können in diesem Fall Geldangebote zur Annahme eines ansonsten unerwünschten Projektes diesen Gemeinsinn und auch die Bereitschaft, für die Gesellschaft als Ganzes ein Opfer zu tragen, unterhöhlt werden. Insofern können Kompensationszahlungen auch das eigentlich angestrebte Ziel verfehlen. Überdies können monetäre Kompensationen eine sehr teure Alternative zur Lösung des Akzeptanzproblems werden, wenn der Gemeinsinn (intrinsische Motivation) der Einwohner einmal zerstört ist und die Akzeptanz der betroffenen Bürger in der Standortgemeinde nur noch als eine Frage des Geldes interpretiert wird [Fre97].

Die Risikowahrnehmung ist ein wichtiger Aspekt, der neben einigen anderen Kriterien, die Akzeptanz von Energietechnologien wesentlich beeinflusst und daher auch im folgenden Abschnitt von Bedeutung ist.

## **7. Akzeptanzkriterien für Energietechnologien**

Gesammelte Erfahrungen aus anderen Technologiebereichen wie der Windenergie, Kernenergie oder Erdgasspeicher zeigen, dass die Akzeptanz von Energietechnologien von den nachstehenden Kriterien beeinflusst wird, welche auch für die Akzeptanz der Pumpspeichertechnologie unter Tage Relevanz haben dürften [Fis08]:

- Risikowahrnehmung (qualitative Risikomerkmale)
- Regionalität
- Zentralität vs. Dezentralität



- Indirekte Technologiewirkungen
- Konkurrierender wirtschaftlicher Nutzen
- Konkurrierende Güter

### **7.1 Risikowahrnehmung**

Die Risikowahrnehmung bzw. subjektive Risikobeurteilung des „laienhaften Bürgers“, in die u. a. auch qualitative Risikomerkmale (z. B. das Katastrophenpotential, die soziale Verteilung von Nutzen und Lasten risikobehafteter Technologien, ihr Kontrollierbarkeit und die wahrgenommene Freiwilligkeit der Risikoübernahmen [Ren97]) Eingang finden, ist in den seltensten Fällen kongruent mit den Risikoabschätzungen der Wissenschaft und Industrie. Diese Divergenzen in den Risikowahrnehmungen zwischen Laien und Experten basieren oftmals auf Wissensdefiziten. Jedoch führen mehr Informationen per se nicht dazu, dass ein Risiko von Laien als geringer eingeschätzt wird, da bei Laien häufig keinen zwingenden Zusammenhang zwischen dem Wissen über ein Risiko und der Beurteilung des Risikos besteht [Fis08]. Der Versuch die „laienhafte Risikowahrnehmung“, die oft als Synonym für die „intuitive Risikowahrnehmung“ gebraucht wird, mit Hilfe des wissenschaftlichen Risikobegriffs, der im Wesentlichen Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit betrachtet, zu verstehen ist meist nicht von Erfolg gekrönt, da das „laienhafte“ Verständnis breiter gefächert sowie auch unstrukturierter ist. Auf der einen Seite ist die intuitive Risikowahrnehmung relativ einfach aufgebaut, da sie sich nicht auf ein methodisch ausgefeiltes, systematisches Verfahren stützt. Andererseits ist sie recht umfassend, da sie über den wissenschaftlichen Risikobegriff hinausgeht und sowohl qualitative als auch affektive Aspekte einbezieht, die über das Wissenschaftskonzept nicht abgebildet werden. Um die intuitive Risikowahrnehmung zu verstehen werden psychometrische Erklärungsansätze verwendet, affektive Prozesse analysiert oder mentale Modelle untersucht [Fis08].

Psychometrische Untersuchungen betrachten das Risiko als ein mehrdimensionales Konstrukt. Es wird davon ausgegangen, dass ein Risiko von Laien nicht nur aufgrund des potentiellen Schadens beurteilt wird, sondern auch auf Basis weiterer „qualitativer“ Dimensionen, von denen angenommen wird, dass sie für die Beurteilung von Risiken relevant sind. Nach psychometrischen Untersuchungen sind es vor allem die folgenden Faktoren, die einen Einfluss auf die Varianz der Risikodimensionen haben [Fis08]:

- die Schrecklichkeit des Risikos („dread risk“), wobei Schrecklichkeit die Dimensionen ‘Unkontrollierbarkeit’, ‘Schwere’ und ‘Katastrophenpotential’ annimmt
- die Bekanntheit des Risikos wird mit den Dimensionen ‘Unbekannt für die Betroffenen’, ‘wissenschaftliche ungeklärt’, ‘neuartiges Risiko’ sowie ‘nicht wahrnehmbares Risiko’ in Verbindung gebracht
- die Zahl der Betroffenen.

Für die Erklärung der Risikoperzeption scheint vor allem der erste Faktor, der sich auf das Bedrohungspotential (Katastrophenpotential) bezieht, eine wichtige Rolle zu spielen. Dies gilt zumindest für Szenarien, in den das Risiko bekannt ist oder schon Schadensfälle eingetreten sind. Bei diesen sogenannten „dread risks“ besteht die Möglichkeit, dass in der intuitiven Risikowahrnehmung die Eintrittswahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Ereignis ausgeblendet wird. Insofern reicht allein die theoretische Möglichkeit für ein bestimmtes Ereignis aus, um das Risiko als untragbar anzusehen. Die Aussagen von psychometrischen Untersuchungen sind allerdings auch mit Vorsicht zu betrachten, da diese zumeist auf aggregierten Datensätzen beruhen, auf deren Basis sich nur begrenzt Rückschlüsse auf individuelle Risikobeurteilungen ziehen lassen [Fis08].

Affektive, emotionale Prozesse beeinflussen wesentlich die subjektiv wahrgenommene Gefühlslage und spielen somit eine wichtige Rolle für die Risikowahrnehmung. Ein häufiges Beispiel für affektive Prozesse ist der inverse Zusammenhang von Risikobeurteilungen und Nutzen. Während in der Realität häufig hohe Risiken mit hohem Nutzen in Verbindung gebracht werden, zeigt sich bei der intuitiven Risikowahrnehmung ein negativer Zusammenhang – hier gehen meist hohe Risikoeinschätzungen mit einem geringen erwarteten Nutzen einher und vice versa. Wie intensiv dieser inverse Zusammenhang ausgeprägt ist, scheint vorwiegend von den negativen (positiven) Gefühlen, die mit einer Technologie oder einem Verhalten verbunden werden, determiniert zu sein. Wird eine Risikoquelle mit positiven Gefühlen in Verbindung gebracht, ist das „gefühlte“ Risiko geringer, ist sie hingegen mit negativen Gefühlen verknüpft, steigt das Risikogefühl stark an. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass auch der emotionale Kontext der Informationsvermittlung bzw. die „Story“, in der das Risiko erzählt wird, für die Risikobeurteilung eine wichtige Rolle spielt. Je nachdem, ob der Kontext, in dem die Information präsentiert wird, eher Empörung oder Nachsichtigkeit hervorruft, kann die Risikoeinschätzung höher oder niedriger sein. In diesem Zusammenhang spielen auch die Medien eine wichtige Rolle. Wenn in Massenmedien Risiken skandalisiert oder emotionalisiert werden, führt

eine derartige Darstellungsweise in der Regel zu einer höheren Risikoeinschätzung. Insofern dürfen affektive Prozesse bei der Analyse von intuitiven Risikowahrnehmungen nicht außer Acht gelassen werden [Fis08].

Ein weiteres Instrument zur Beurteilung der intuitiven Risikowahrnehmung sind mentale Modelle. Menschen entwickeln mentale Modelle darüber, wie Risiken entstehen und welche Beziehung zwischen Ursachen und Wirkungen bestehen. Laien greifen oft auf Heuristiken (vereinfachende mentale Strategien) zurück, die aus ihrer Perspektive als durchaus sinnvoll erachtet werden, um Wahrscheinlichkeiten leicht und schnell abschätzen zu können. Derartige Einschätzungen weisen einen qualitativen Charakter auf und können zur falschen Wahrscheinlichkeitsabschätzung führen. Darüber hinaus sind Laien oftmals der Auffassung, dass sie selbst (besser als andere) in der Lage sind, Risiken zu vermeiden oder zu kontrollieren. Daher sind Situationen, in denen die privaten Risiken systematisch unterschätzt werden nicht selten. Ferner werde in den Risikoabschätzungen von Laien im Gegensatz zu den Experten das Ausmaß eines Risikos (z. B. der Grad der Toxizität von Schadstoffen) oder sog. Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge vernachlässigt. Insofern sind mit Hilfe von mentalen Modellen nur beschränkt Aussagen über die Dimensionen des Risikos möglich, also darüber, wie „schlimm“ eine Situation wirklich ist. Somit sind mentale Modelle weniger für die Wahrnehmung von Risiken von Interesse, sondern eher für die Kommunikationsstrategie von Risiken, die verdeutlichen können, „wie schlimm Risiken wirklich sind.“ In diesem Zusammenhang sind die wissenschaftlichen Abschätzungen der „tatsächlichen“ Risiken von Bedeutung, da deren Einsichten bzw. die Expertenmeinungen zu den realen Risiken im Gesamtkonzept der Risikokommunikation durchaus die Risikowahrnehmung beeinflussen können [Fis08].

Aus empirischer Sicht haben sich einige Faktoren herauskristallisiert, welche für die subjektive Risikowahrnehmung und die Akzeptanz von Risiken eine zentrale Rolle spielen können [Ren97], [Fis08]:

- *das Potential für Katastrophen:* in diesem Punkt konzentriert man sich darauf wie viele Menschen bei einem einzigen Ereignis zu Schaden kommen können. Ist zu erwarten, dass die Schadensfälle schlagartig auftreten, werden die Risiken höher bewertet, als wenn sich die Schadensfälle über einen gewissen Zeithorizont erstrecken und somit die Risiken als geringer eingeschätzt werden.

- *die Kontrollierbarkeit des Risikos*: werden Gefahren als kontrollierbar eingestuft, so werden diese als weniger riskant angesehen als Risiken, die als nicht beeinflussbar gelten.
- *die Freiwilligkeit der Risikoübernahme*: freiwillig eingegangene Risiken werden meist geringer eingeschätzt und eher akzeptiert als aufgezwungene Risiken.
- *die Einschätzung hinsichtlich der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu einem Risiko*: bestehen hinsichtlich der wissenschaftlichen Risikoabschätzung etwaige Unsicherheiten, sensibilisiert dies die Menschen dafür, dass ein potentiell kritisches Risiko vorliegt, dem Beachtung geschenkt werden muss.
- *die „Natürlichkeit“ des Risikos*: natürliche Risiken werden im Vergleich zu künstlichen Gefahrenquellen geringer eingestuft. Menschen neigen oftmals dazu an technische Anlagen höhere Sicherheitsansprüche zu formulieren als an ein vergleichbares natürliches Risiko.
- *das Vertrauen in die Institutionen*: es geht hier um das Vertrauen in die Fähigkeiten von staatlichen und privaten Institutionen mit Risiken sachgerecht und offen umgehen zu können. Dabei spielt auch das Vertrauen in das politisch-administrative System eine Rolle. Der Blick richtet sich insbesondere darauf, inwieweit in diesem System der Kontroll-, Regulierungs- und Informationspflichten Genüge getan wird. Vertrauen ist in diesem Kontext eine sehr schwankende Größe, die wesentlich von der jeweiligen Situation und den ablaufenden Kommunikationsprozessen abhängig ist.

Neben diesen Items ist für die Risikobewertung als auch für die Akzeptanz der wahrgenommene Nutzen, der nicht nur individuell-egoistisch, sondern auch altruistisch sein kann, von Bedeutung. Es wird davon ausgegangen, dass Menschen eher bereit sind Risiken zu akzeptieren, wenn damit auch ein höherer Nutzen verknüpft ist. Insofern ist die Risikoakzeptanz auch ein Ergebnis der Gegenüberstellung von Nutzen- und Schadensaspekten, die mit großtechnischen Anlagen verknüpft sind.

## **7.2 Regionalität**

Die Akzeptanz für eine Energietechnologie wird auch von der regionalen Verteilung der Kosten und Nutzen eines derartigen Vorhabens beeinflusst. Hier geht man der Frage nach, ob bereits ähnliche großtechnische Anlagen in der geplanten Standortgemeinde bereits existieren und inwieweit man bereit ist, die zusätzlichen Risiken einer neuen Anlage zu tragen oder, ob damit gewisse „Reizschwellen“ überschritten werden, sodass sich eine

abwehrende Haltung herauskristallisieren kann. Zum anderen können mitunter regionale Disparitäten auftreten, wenn der Nutzen, den eine Technologie mit sich bringt, nicht zumindest zum Teil mit den Kosten zusammen fällt. Dies wäre beispielsweise der Fall, wenn in der Bauphase des Projekts, Rückstände bzw. Reststoffe mit stark negativen Eigenschaften entstehen, die andernorts gelagert oder entsorgt werden sollen, wo der Nutzen durch den Einsatz der Technologie nicht zu spüren ist [Fis08].

### **7.3 Zentralität vs. Dezentralität**

Technologien mit zentralem Charakter können ein anderes Profil entwickeln und eine andere Wahrnehmung (NIMBY-Projekt) in der Bevölkerung hervorrufen als Technologien mit dezentralem Charakter. Im Fall einer zentralen Technologie – in der Regel großtechnische Anlagen – ist es für den Betreiber eher möglich, direkte Anrainer dafür zu entschädigen, die Existenz der Anlage hinzunehmen als dies bei dezentralen Technologien möglich ist. Bei diesen Technologien ist die Zahl der direkten Anrainer (Betroffenen) höher und die Wahrnehmbarkeit aufgrund der Verbreitung in der Fläche stärker ausgeprägt [Fis08].

### **7.4 Indirekte Technologiewirkungen**

Indirekte Technologiewirkungen können von positiver oder negativer Natur sein. Sind beispielsweise mit dem Bau oder Inbetriebnahme der Anlage neue Arbeitsplätze verbunden, so nimmt die Akzeptanz für derartige Technologien zu. Bleiben solche positiven Effekte aus oder werden durch die Technologie Arbeitsplätze vernichtet wird man eher skeptisch oder ablehnend der innovativen Großtechnologie gegenüberstehen. Andererseits bietet sich auch die Möglichkeit für die betreffende Standortgemeinde eine Technologie zu etablieren, die z. B. im Bereich der Speichertechnologien eine führende Rolle einnehmen kann und somit eine Exportchance für die Technologie in andere Regionen oder Länder. Könnte man darüber hinaus die Technologie auch in anderen Anwendungsbereichen zum Einsatz bringen, wären dies ebenfalls positive indirekte Technologiewirkungen [Fis08].

### **7.5 Konkurrierender wirtschaftlicher Nutzen**

Die Akzeptanz von einzelnen technischen Anlagen ist auch davon abhängig, inwieweit diese einen Einfluss auf bestehende oder mögliche zukünftige wirtschaftliche Aktivitäten haben. Wenn solche Aktivitäten als gefährdet angesehen werden, kann aus derartigen

Situationen auch lokaler Widerstand gegen das geplante Projekt erwachsen. Sollten sich mögliche wirtschaftliche Einbußen ergeben, können diese zwar monetär kompensiert werden, aber hierfür muss zunächst eruiert werden, in welchem Umfang wirtschaftliche Einbußen tatsächlich vorliegen und wie diese zu bewerten sind. Sollte man den Weg der Kompensationszahlung gehen und die Akzeptanz als eine Frage des Geldes interpretieren, sollte man sich gewahr sein, dass dies unter Umständen eine sehr teure Alternative zur Klärung möglicher Akzeptanzprobleme darstellt, die sich mitunter auch in den Projektkosten niederschlagen kann [Fis08].

### **7.6 Konkurrierende Güter**

Bei konkurrierenden Gütern kann es sich um die Umwelt an sich, um Wasserschutz-, Naturschutz- oder Landschaftsschutzgebiete, um die menschliche Gesundheit sowie um Denkmäler handeln. Sollten beispielsweise durch den Bau der Anlage offiziell schutzwürdige Güter beansprucht werden, kann der Gesetzgeber Kompensationen vorsehen, wie z. B. Ausgleichsflächen für beeinträchtigte Naturschutzgebiete oder andere Ausgleichsmaßnahmen anordnen, wie z. B. die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in der gewählten Standortgemeinde. Der Schutz von solchen konkurrierenden Gütern wird mitunter von Umweltverbänden oder Bürgerinitiativen getragen, die professionell organisiert sind und in Aushandlungen von Kompromissen nur beschränkt in der Lage sind ihre Verhandlungsposition zu verlassen, da sie ihrerseits die gesteckten Kernziele gefährdet sehen. Derartige Auseinandersetzungen mit lokalen Protestbewegungen können die geplanten Projekte in ihrer Umsetzung vehement behindern oder sogar verhindern [Fis08].

### **7.7 Einordnung des PSWuT anhand der Akzeptanzkriterien**

Bezüglich der angeführten Akzeptanzkriterien ist ein Pumpspeicherwerk unter Tage kurz umrissen wie folgt einzuordnen:

**Tabelle 7** Anwendung der Akzeptanzkriterien auf das PSWuT.

<b>Kriterium</b>	<b>Pumpspeicherwerk unter Tage (PSWuT)</b>
<b>Risikowahrnehmung, NIMBY-Effekt</b>	Es sollte von Anfang vermieden werden, dass das PSWuT als NIMBY-Projekt oder Risikotechnologie in der Bevölkerung wahrgenommen wird. Die „Story“ in der über die Chancen und Risiken informiert wird hat einen wesentlichen Einfluss auf die intuitive Risikowahrnehmung der Bürger. Wissenschaftler und Experten sehen im Allgemeinen nur

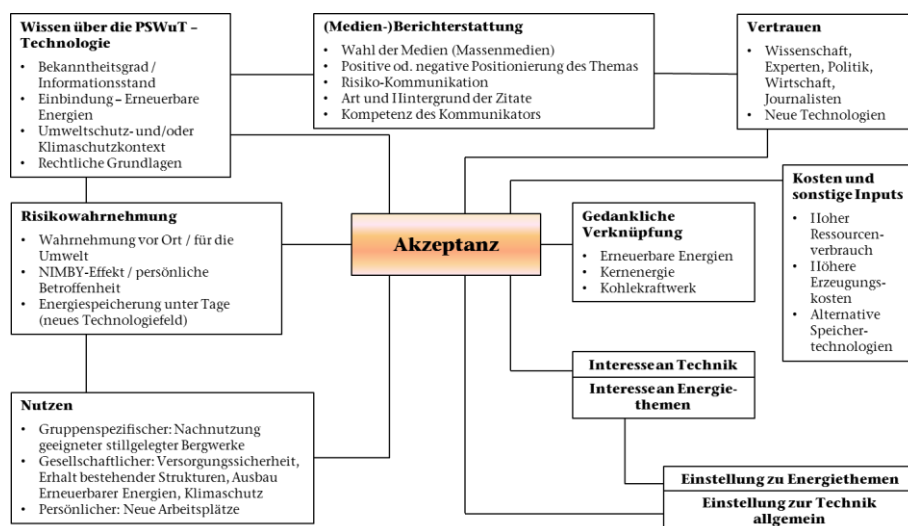
Kriterium	Pumpspeicherwerk unter Tage (PSWuT)
	kontrollierbare Risiken in der PSW-Technologie. Derartige Differenzen in der Risikowahrnehmung könne in einen fairen offenen Dialog zwischen Betreibern und Anrainern in der Planungsphase des Projekts angeglichen werden.
<b>Regionalität</b>	Auswirkungen auf die angrenzenden Regionen sind zu erwarten, wenn z. B. anfallende Rückstände andernorts entsorgt oder gelagert werden müssen.
<b>Zentralität vs. Dezentralität</b>	Das PSWuT ist als zentrale Großtechnologie einzuordnen.
<b>Indirekte Technologiewirkungen</b>	Beispielsweise in Form von neuen Arbeitsplätzen können indirekte Technologiewirkungen mit der Errichtung des PSWuT verbunden sein.
<b>Konkurrierender wirtschaftlicher Nutzen</b>	Positive oder negative Einflüsse auf die bestehenden oder zukünftigen wirtschaftlichen Aktivitäten in den Standortgemeinden können nicht von vornherein ausgeschlossen werden. Diese können zum derzeitigen Informationsstand allenfalls qualitativ benannt aber nicht quantifiziert werden. In Einzelfallbetrachtungen kann bspw. geklärt werden, ob die touristische Entwicklung der Region durch das PSWuT tangiert wird oder inwieweit das Projekt zur Stärkung der wirtschaftlichen Entwicklung der Standortgemeinde beiträgt.
<b>Konkurrierende Güter</b>	Interdependenzen mit konkurrierenden Umweltgütern sind durch die Baumaßnahmen, die Errichtung der übertragigen Anlagen, die Netzanbindung oder der Installation des Maschinensatzes etc. nicht vollständig zu vermeiden. Daher werden vor allem die potentiellen Akzeptanzprobleme, die aus diesem Sachverhalt resultieren können, im Rahmen der Akzeptanzanalyse bzgl. der zwei Modellbergwerke Grund und Pöhla thematisiert.

Es ist deutlich geworden, dass die Risikowahrnehmung bzw. Risikoabschätzung ein wesentlicher Faktor für die Akzeptanzbildung im Bereich der externen Technologien darstellt. Daher ist es für die Akzeptanz in der geplanten Standortgemeinde wichtig, frühzeitig in den offenen Dialog mit Vertretern der lokalen Institutionen (Politik, Genehmigungsbehörden) als auch mit den direkten Anrainern zu treten, um die Chancen und mögliche Problemfelder, die Einflüsse auf die Umwelt oder wirtschaftliche Entwicklung der Region zeitnah zu diskutieren. Eine lückenlose Informationspolitik stellt die Basis für eine konstruktive Kompromisslösung dar, falls sich widererwartenden Skepsis oder Proteste for-



mieren. Man sollte von Anfang an vermeiden, dass die Pumpspeichertechnologie unter Tage als NIMBY – Projekt oder Risikotechnologie wahrgenommen wird. Sollte sich diese Einstellung in der Bevölkerung einmal manifestieren haben, ist es nur schwer möglich nachträgliche mit entsprechenden Informationsoffensiven oder PR-Maßnahmen dagegen anzusteuern. Ist die Bürgerbefragung das Ergebnis einer Kompromisslösung, die aus einer kontrovers geführten Debatte hervorgeht, sollte man auch dieses Ergebnis annehmen, um damit die Chance zu wahren, durch einen mehrheitlichen Entschluss der Befragten, die Legitimation für das geplante Projekt zu erhalten. Wenn die politischen Entscheidungsträger als auch die Betreiber des Projekts die Mehrheit der Standortgemeinde hinter sich wissen, ist es im Folgenden leichter, die notwendigen Entscheidungen oder Genehmigungen durchzusetzen bzw. wird damit ein Stück weit die Argumentationsgrundlage der Protestbewegungen (Bürgerinitiativen) beschnitten, sich gegen das Projekt zu stellen.

Eine zusammenfassende Darstellung der Einflussfaktoren für die Akzeptanzbildung einer innovativen Technologie, wie das Pumpspeicherwerk unter Tage, liefert die folgende Abbildung.



**Abbildung 30** Einflussfaktoren für die gesellschaftliche Akzeptanz des PSWuT – Quelle: Eigene Darstellung nach [Fis08/2]

Neben dem allgemeinen Wissensstand zur Pumpspeichertechnologie trägt auch der Kontext, in dem die Informationen kommuniziert werden zur Akzeptanz bei. So ist es vorstellbar, dass die Akzeptanz für eine PSWuT im Zusammenhang mit der Integration und Ausbau der erneuerbaren Energien, dem Ausgleich von Stromschwankungen in der Stromversorgung sowie der Verbesserung der technischen Versorgungssicherheit eher

akzeptiert wird, als wenn man den Vergleich zu anderen (langfristigen) Speichertechnologien zieht. Zudem wird in der Abbildung 30 noch einmal betont, dass die Akzeptanz für eine solche innovative Technologie auch davon abhängig ist, in welchem Umfang der Nutzen und die Kosten (z. B. höherer Ressourcenbedarf, Effizienz der Anlage  $< 1$ ) bzw. die Vor- und Nachteile für die entsprechende Region wahrgenommen werden.

Im Vergleich zum konventionellen übertägigen Pumpspeicherwerk (PSW) verfügt ein PSW unter Tage über den Vorteil, dass nur ein geringerer Eingriff in das Landschaftsbild sowie ein wesentlich geringerer Oberflächenverbrauch damit verbunden sind. Darüber hinaus kann die Befüllung der Speicherbecken eines PSWuT über erschrotenes Wasser (Wasser aus Klüften und Spalten) erfolgen, sodass man in diesem Fall nicht auf fließende Gewässer oder Stauseen angewiesen ist. Darüber hinaus könnten sich in der Phase der Inbetriebnahme des PSWuT weitere Vorteile z. B. in Form einer neuen Besucherattraktion oder einer geringen Umsatzbeteiligung, die von den Betreibern gewährt wird, für die Standortgemeinde ergeben. Damit wären unter Umständen kontinuierliche Einnahmen für die Gemeinde verbunden, mit denen sie Projekte im Bildungsbereich oder im Tourismus unterstützen kann. Ferner wäre es auch denkbar, dass ein derartiges Pilotprojekt zum Imagegewinn einer Region beiträgt, da man über eine zukunftsweisende Speichertechnologie verfügt, die Vorbild für weitere PSWuT-Projekte an anderen Standorten in Deutschland sein kann.

Bei derartig neuen Technologien, wie einem Pumpspeicherwerk unter Tage, sollte man den Informations- und Aufklärungskampagnen große Aufmerksamkeit schenken, die in der Planungsphase von Pilotprojekten zu leisten sind, in deren Rahmen nicht nur der gesellschaftliche und wirtschaftliche Nutzen bzw. die Vorteile für die Standortgemeinde thematisiert werden, sondern genauso auch die Risiken oder mögliche Unwägbarkeiten aufgezeigt werden, die man zwar qualifizieren aber zum Zeitpunkt der konzeptionellen Phase des Projekts noch nicht endgültig quantifiziert kann. Überdies ist aus den Ausführungen zur intuitiven (laienhaften) Risikowahrnehmung deutlich geworden, dass mehr Informationen nicht per se zu mehr Akzeptanz bei den Bürgern führen. Im Rahmen der Informationspolitik (Informationsstrategie) gilt es vor allem, den Bedenken und Ängsten Rechnung zu tragen. Dabei spielt die Wahl der Medien (Massenmedien, persönliche Kommunikation) für die gesellschaftliche Akzeptanz eine wichtige Rolle. Besonders die Aufmerksamkeit, das Interesse der Öffentlichkeit an der PSWuT-Technologie und die Vermittlung von Wissen können in einem Schritt am besten mit Hilfe der Massenmedien

(TV, Zeitung, Internet, etc.) geweckt und forciert werden [Fis08]. Darüber hinaus bilden z. B. persönliche Gespräche und Informationsveranstaltungen vor Ort wichtige Kommunikationskanäle, durch die über das Thema informiert und bestimmte Überzeugungen sowie Verhaltensweisen in der Praxis beeinflusst werden können. Insofern wird über die sog. interpersonalen Kommunikationskanäle im Dialog die Akzeptanz für ein PSWuT gefördert. Demnach kommt der persönlichen Kommunikation im Hinblick auf die Schaffung von Akzeptanz gerade bei den „Betroffenen vor Ort“ eine wichtigere Rolle zu als den Massenmedien, diese sind jedoch als Voraussetzung für die Akzeptanzbildung anzusehen. Sie stellen die erste Informationsquelle der breiten Öffentlichkeit dar und prägen somit das Einstiegsbild zur PSWuT-Technologie sowie unter anderen auch die Vorurteile in die eine oder andere Richtung [Fis08]. Besonders über das Internet werden heutzutage viele Informationen gesammelt, sodass man darüber nachdenken sollte, inwieweit man für ein solches Vorhaben einen entsprechenden Internetauftritt mit Videoanimationen, Kurzfilmen, technische Details, News oder Foren vorbereitet.

Wie wichtig eine durchdachte Kommunikationsstrategie von Seiten der Betreiber ist, hat das Scheitern eines geplanten PSWuT in der Gemeinde Ritten in Südtirol im Jahr 2009 gezeigt. Eine unzureichende Informationspolitik hatte dazu geführt, dass Skepsis und Unwissenheit sowie die darauf aufbauende Darstellung des Projekts in den Medien, der Nährboden für Bedenken und Ängste waren, die über affektive Prozesse (gefühltes Risiko) in einer übertriebenen laienhafte Risikowahrnehmung bei den Anrainern mündeten. Diese wiederum beeinflusste die Argumentationsgrundlage der Projektgegner, die sich in Form einer Bürgerinitiative monatelang gegen das geplante PSWuT gestellt haben. Derartige Interessengruppen stellen vor allem die möglichen Risiken der Anlage in den Vordergrund, aber die potentiellen Chancen für die strukturelle Entwicklung der Region werden nur begrenzt wahrgenommen oder ausgeblendet. Zum Beispiel hätte die Gemeinde Ritten im Vergleich zum Status quo über die Ausgleichsmaßnahmen des Projekts, die 2% der Baukosten betragen, ihre Lösch- und Trinkwasserversorgung verbessern können [ABL08]. Die Bürgerinitiative organisierte eine Unterschriftenaktion gegen das geplante Projekt und legte diese dem Bürgermeister der Gemeinde vor. In diesem Zusammenhang wurde eine Bürgerbefragung diskutiert, die aber vom Bürgermeister abgelehnt wurde, da aus seiner Sicht die gesammelten Unterschriften (1973 im Juli 2009), keine repräsentative Mehrheit (ca. 7500 Einwohner zählt die Gemeinde Ritten im Jahr 2009) für die ablehnende Haltung der Bevölkerung darstellten, sondern lediglich Ausdruck eines „bestehenden

Unbehagens“ seien [Vik09], [Vik09/2]. Gemessen an den bis dahin gesammelten Unterschriften ist dies zwar richtig, aber im Internet gab es auf der Homepage der Bürgerinitiative viele kritische Stimmen zum Projekt, sodass insgesamt gesehen möglicherweise die Zahl der Projektgegner größer ist, als sich mit den Unterschriften belegen lässt. Im Endeffekt hat sich das PSWuT als NIMBY-Projekt in den Köpfen der Bürgerinitiative manifestiert, die Chance, über ein Bürgervotum mehr Akzeptanz in der Bevölkerung zu schaffen, wurde vertan und eine Kompromisslösung zwischen der Bürgerinitiative, den Gemeindevertretern und den Betreibern war nicht in Sicht. Im Prinzip spiegelt sich im Scheitern dieses Projektes ein zentrales Ergebnis empirischer Studien zur Technikakzeptanz wider:

*„Was alle mittragen sollen, muß auch von allen ratifiziert werden. Die formale Legalität politischer Entscheidungen kann fehlende Legitimität nicht ersetzen. Die politische Durchsetzung externer technischer Anlagen oder die Einführung neuer innovativer Großtechnologien auf der Basis der nachträglichen Bearbeitung der Öffentlichkeit mit PR-Maßnahmen zur Akzeptanzverbesserung können als gescheitert gelten: Sie zerstören nachhaltig gegenseitiges Vertrauen und führen zu starren Verweigerungshaltungen. Eine FuT-Förderung, die erweiterte öffentliche Partizipationsrechte außer acht läßt und es versäumt, die Öffentlichkeit rechtzeitig in einem offenen und fairen Dialog in die Projektplanung mit einzubeziehen, wird langfristig chancenlos sein.“ [Ren97]*

Die bisherigen Ausführungen haben einen Überblick über die Technikakzeptanz und ihre facettenreichen Ausprägungen gegeben. Des Weiteren sind einige allgemeine Faktoren aufgeführt worden, die einen Einfluss auf die gesellschaftliche Akzeptanz für Energietechnologien sowie insbesondere für ein Pumpspeicherwerk unter Tage haben können. Dabei spielten die intuitive Risikowahrnehmung, der Einfluss von qualitativen Risikomerkmale sowie die Beeinflussung der Risikowahrnehmung über eine entsprechende Kommunikationsstrategie eine bedeutende Rolle. Wie verhängnisvoll es sein kann, derartige Aspekte bei der Einführung bzw. Planung von zentralen Techniken zu unterschätzen, sollte anhand des skizzierten Beispiels des PSWuT in Ritten verdeutlicht werden.

Die Standortentscheidung für ein PSWuT ist sehr vielschichtig, sodass für eine detaillierte Akzeptanzanalyse Einzelfallbetrachtungen vorgenommen werden müssen. Welche Einflussfaktoren neben den genannten Kriterien für die Akzeptanzbildung der PSWuT-Technologie im Falle der gewählten Modellbergwerke im Rahmen dieser Studie Berücksichtigung finden sollten, wird in den folgenden Abschnitten thematisiert.

## 8. Modellbergwerk Grund

Der konzeptionelle Grundgedanke dieser Studie stützt sich vor allem darauf, vorhandene Stollensysteme wiederzubeleben, die in puncto Stabilität, Fallhöhe, Durchmesser, Gesteinsfestigkeit u.v.m. den Anforderungen eines PSWuT mit bestimmten technischen Leistungsmerkmalen genügen, die den detaillierte Ausführungen der einzelnen Teilberichten der transdisziplinären Studie zu entnehmen sind. Aufgrund der komplexen interdisziplinären Problemfelder, die mit der Konzeption eines untertägigen Pumpspeicherwerkes verbunden sind sowie der daraus resultierenden unterschiedlichen Fragestellungen und Ansatzpunkt für die Akzeptanzanalyse, hat man sich auf zwei Standorte konzentriert, die sehr unterschiedliche Charakteristika aufweisen.

Das stillgelegte Stollensystem des ehemaligen Erzbergwerks Grund bzw. Wiemannsbucht (s. Abbildung 31) östlich der Ortschaft Bad Grund ist als Standort für dieses Modellbergwerk vorgesehen.

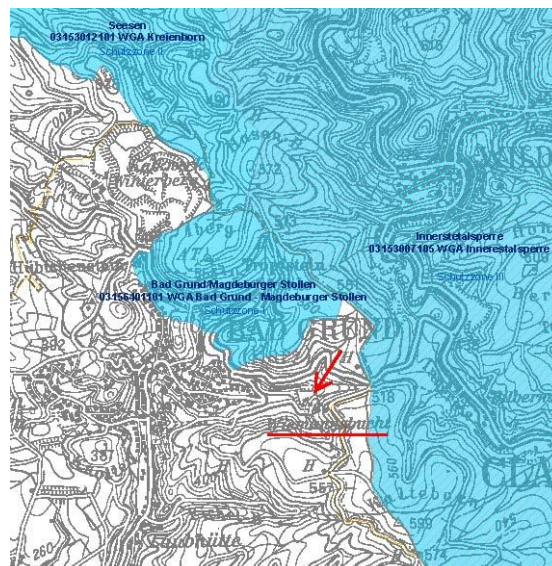


**Abbildung 31** Werksgelände Wiemannsbucht bei Bad Grund (© 2011 GeoContent, Google Earth)

Das Gelände der Wiemannsbucht befindet sich inmitten eines waldreichen Landschaftsschutzgebietes und liegt in der Nähe des Wasserschutzgebietes „Innerstetalsperre“ und dem Trinkwasserschutzgebiet „Magdeburger Stollen“. Bei der Planung des untertägigen Pumpspeicherwerkes muss darauf geachtet werden, dass die Wasserschutzgebiete (s. Abbildung 32) und hier insbesondere das Trinkwasserschutzgebiet von den untertägigen Anlagen (z. B. Speicherbecken) und der Inbetriebnahme des PSWuT nicht tangiert bzw. beeinflusst werden. Andernfalls hätte man von Anfang einige Ansatzpunkte für mögliche



Akzeptanzkonfliktfelder in der Konzeptionierung des PSWuT enthalten, an denen sich mitunter heftige Kritik (auch aus anderen Regionen) entzünden kann. Des Weiteren könnten auch regionale Wasserversorgungsunternehmen mit Skepsis auf das geplante Modellbergewerk reagieren. So äußerte sich beispielsweise der Unternehmenssprecher der Harzwasserwerke in der Hannoverschen Allgemeinen Zeitung: „Ich weiß nicht, wo das Wasser dafür [PSW] herkommen soll [...] Die Talsperren dienen der Trinkwasserversorgung. Es kann nicht sein, dass uns ein Kraftwerksbetreiber das Wasser abgräbt...“ [HAZ11]. Insofern sollte von vornherein im Rahmen der Projektvorstellung verdeutlicht werden, dass die Trinkwasserversorgung für die Region durch das Modellbergwerk Grund nicht gefährdet ist sowie Maßnahmen getroffen werden, um eine derartige gegenseitige Beeinflussung von Anfang zu vermeiden. Im Rahmen eines offenen Dialogs zwischen Betreibern und Anrainer können Ängsten und Bedenken, die sich aus diesem Sachverhalt ergeben könnten, konstruktiv diskutiert und entkräftet werden.

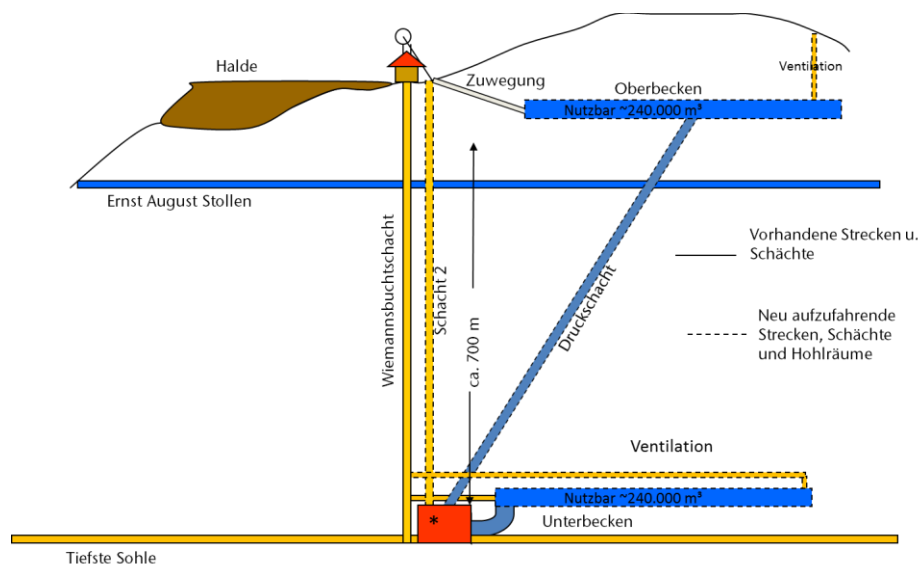


**Abbildung 32** Wasserschutzgebiete nahe der Wiemannsbucht (© 2011 Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (LGLN))

Neben den angesprochenen Schutzgebieten spielt für Planung des PSWuT auch der Denkmalschutz eine Rolle. Nicht nur die verbliebenen Betriebsgebäude des Erzbergwerks Grund stehen unter Denkmalschutz, sondern auch Schachtanlage sowie die untertägigen Anlagen (s. Teilbericht Recht). Dazu zählt auch der Ernst-August-Stollen, der als Wasserlösungsstollen für den Oberharzer Bergbau fungierte und heute Bestandteil des UNESCO-Weltkulturerbes „Oberharzer Wasserregal“ ist. Im August 2010 erhob die UNESCO die „Oberharzer Wasserwirtschaft“ (das Oberharzer Wasserregal ist der flächenmäßig größte

Teil davon) zum UNESCO-Weltkulturerbe [Har10]. Elemente des Kulturdenkmals „Oberharzer Wasserregal“ sind Teiche (Speicherbecken), Gräben, Wasserläufe (unterirdische Gräben/Stollen) und Radstuben (Wasserräder) in der Region um Clausthal-Zellerfeld, Buntenbock, Hahnenklee-Bockswiese, St. Andreasberg und Lauterberg [Har10].

Mit dem Modellbergwerk Grund ergibt sich die Chance, ein Naturdenkmal in eine innovative Speichertechnologie zu integrieren. Zum einen kann das Wasser des Ernst-August-Stollens zur Befüllung der Speicherbecken genutzt werden und zum anderen kann über den Wasserlösungsstollen Wasser abgeleitet werden, das für die Trockenhaltung der untertägigen Grubenräume der Pumpspeicheranlagen abgepumpt werden muss. In der folgenden Abbildung werden die einzelnen Elemente des Modellbergwerks Grund skizziert, sodass man einen Einblick bekommt, wie das vorhandene Stollensystem, der Wiemannsbuchtschacht und die übertägigen Anlagen des Erzbergwerks Grund in das PSWuT integriert werden sollen.



**Abbildung 33** Prinzipskizze Modellbergwerk Grund mit vier Stunden Betriebszeit (Jarrah, IBB, 07.03.2011)

Angenommen man kann den Ernst-August-Stollen für das Pumpspeicherwerk unter Tage nutzen, dann könnten daraus Akzeptanzprobleme erwachsen, wenn durch die Befüllung der Speicherbecken eine entschiedene Beeinflussung des Wasserspiegels und der Wasserqualität und damit eine elementare Beeinträchtigung des Weltkulturerbes zu befürchten wäre. Inwieweit bspw. eine Beeinträchtigung der Wasserqualität zu befürchten ist, bleibt abzuwarten. Hierzu sollte im Rahmen von Voruntersuchungen geklärt werden, ob und wenn ja, in welcher Konzentration eine Belastung des Bodens und des Flutungswassers,



das sich im stillgelegten Stollensystem befindet, mit Schermetallen (Blei, Zink, Zinn etc.) zu erwarten ist. Sollten die Voruntersuchungen eine Verunreinigung mit Schwermetallen ergeben, ist es denkbar, das Wasser vorher zu reinigen, bevor man es über den Ernst-August-Stollen in die Markau ableitet. Durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen kann eine negative Beeinflussung des Kulturdenkmals „Oberharzer Wasserregal“ vermieden werden.

Ferner ist für die Planung und Umsetzung des untertägigen Pumpspeicherwerks der Denkmalschutz der vorhanden technischen Anlagen sowie der Betriebsgebäude des Erzbergwerks Grund zu berücksichtigen. Dieser könnte zu einer eingeschränkten Nutzung der Gebäude führen sowie ein Einfluss auf der Errichtung neuer Gebäude oder Anlagen zur Netzanbindung des PSWuT haben (s. Teilbericht Recht). Kritische Aspekte für die Akzeptanz des PSWuT könnten hieraus erwachsen, wenn der Eindruck entstünde, dass der Denkmalschutz gefährdet ist bzw. sich hieraus potentielle Angriffspunkte für evtl. Projektgegner herauskristallisieren.

Für die Realisierung des PSWuT am Standort Bad Grund müssen etliche unterirdische Anlagen, wie bspw. die Transport-, Ventilations- und Druckschächte sowie die Speicherstrecken aufgefahren werden. Prinzipiell werden für das PSWuT zwei Varianten geplant. Zum einen wird ein PSWuT mit 4 Volllaststunden und zum anderen mit einer Volllastzeit von 2 Stunden betrachtet. Für die Varianten müssen unterschiedlich große Speicherbecken aufgefahren werden. Man geht davon aus, dass für ein untertägliches PSW mit 4 Stunden Volllastzeit etwas über 300.000 m<sup>3</sup> je Speicherbecken aufgefahren werden müssen und des Weiteren für die Hälfte der Betriebsdauer auch nur die Hälfte des Speichervolumens benötigt wird (s. Teilbericht Bergbau). Betrachtet man ein PSWuT mit 4 Volllaststunden, dann fallen für die Errichtung der unterirdischen Anlagen insgesamt ca. 1 Mio. m<sup>3</sup> Aushubmaterial (s. Teilbericht Bergbau) an.

Insofern ist es möglich, dass für die Wahrnehmung des Gefährdungspotentials eines PSWuT die Gesteinsfestigkeit, die durch Bohrungen und Sprengungen während der Bauphase als auch durch die Bewegung der Wassermassen in der Betriebsphase des PSWuT möglicherweise beeinträchtigt wird, eine Rolle spielt. Durch die Bewegung der Wassermassen, die typischerweise mit einem PSWuT verbunden sind, kann die Gesteinsfestigkeit beeinträchtigt werden, wenn nicht ausreichende Maßnahmen zur Gebirgssicherung vorgenommen werden. Durch Auskleidung der Speicherstrecken mit geeigneten Materialien

(z. B. Beton) sowie mit der Einbringung von Dichtungen, kann man diesem Effekt entgegenwirken. Die Auswaschung des Gesteins hat mitunter auch einen Einfluss auf die Wasserqualität und damit unter Umständen über den Ernst-Augst-Stollen auch auf die anschließenden Wasserläufe des „Oberharzer Wasserregals“. Über eine ausreichende Gebirgssicherung kann man in dieser Hinsicht möglichen Ängsten und Bedenken entgegen treten, sodass hieraus keine übertriebene Risikowahrnehmung resultieren muss.

Nicht nur die unterirdischen Baumaßnahmen können zu möglichen Akzeptanzproblemen führen, sondern auch die übertägigen Arbeiten, wie die Lagerung und der Abtransport des Aushubmaterials, die Errichtung von neuen Gebäuden oder Maßnahmen zur Netzanbindung, die in Form einer Freileitungen oder eines Erdkabels erfolgen kann. In der Nähe des Wiemannsbuchtschachts befindet sich eine Halde, die nach der Stilllegung des Erzbergwerks Grund weitestgehend renaturiert wurde (s. Teilbericht Bergbau). In den konzeptionellen Betrachtungen zum Modellbergwerk Grund geht man davon aus, dass man diese Halde temporär nutzen kann, um dort ca. 300.000 m<sup>3</sup> Aushubmaterial zwischenzulagern. Die verbleibenden 700.000 m<sup>3</sup> Abraummateriale sollen andernorts untergebracht werden, sodass Auswirkungen auf benachbarte Regionen nicht völlig auszuschließen sind. Eine Lösung, die in diesem Zusammenhang diskutiert wurde, stellt der Verkauf des Aushubmaterials an Straßenbauunternehmen oder andere Bereiche der Bauwirtschaft dar. Aus zweierlei Hinsicht könnten sich hieraus Akzeptanzprobleme ergeben. Sollten Voruntersuchungen ergeben, dass das Aushubmaterial mit Schwermetallen oder anderen toxischen Stoffen belastet ist, stellt sich die Frage, inwieweit die (temporäre) Lagerung von ca. 300.000 m<sup>3</sup> belasteten Abraums in der Nähe von Bad Grund geduldet werden und zum anderen, ob in diesem Fall, die verbleibenden 700.000 m<sup>3</sup> Abraummateriale der favorisierten Lösung zuführt werden können. Ein weiterer Aspekt, der nicht zu vernachlässigen ist, stellt die potentielle Lärm- und Verkehrsbelastung im Erholungsgebiet um Bad Grund dar, die sich über eine Bauzeit von ca. 4 Jahren ergibt, wenn die ca. 700.000 m<sup>3</sup> Aushubmaterial abtransportiert werden sowie weiterer LKW-Verkehr, der mit der Anlieferung von Baumaterialien etc. verbunden ist, in die Betrachtung eingeschlossen werden. Angenommen man könnte pro LKW ca. 20 m<sup>3</sup> Abraum abtransportieren, dann würden bei insgesamt 700.000 m<sup>3</sup> Abraum 35.000 Fahrten anfallen. Geht man des Weiteren davon aus, dass diese 35.000 Fahrten auf 4 Jahre mit jeweils 280 Arbeitstagen verteilt werden, so ergeben sich pro Tag ca. 31 Fahrten zuzüglich der Rückfahrten. Könnte man die Halde vor Ort nicht im gewünschten Umfang nutzen, würden die Fahrten pro Tag nach dieser

einfachen Überschlagsrechnung entsprechend ansteigen. Inwieweit sich daraus eine wahrnehmbare Geräuschbelästigung (besonders zur Nachtzeit) für die Anrainer ergibt, ist auch von der Schallübertragung von der Bundesstraße (B242) in Richtung Bad Grund abhängig.

Ob und wenn ja, in welchem Umfang sich hieraus Proteste gegen das PSWuT entwickeln, ist zum einen davon abhängig, ob das Aushubmaterial mit Schwermetallen belastet ist, und zum anderen, in welchem Umfang man die vorhandene Halde nutzen kann. Hinzu kommt, dass mit dem Abtransport des Abraums als auch später bei der Anlieferung der Maschinenteile für das PSWuT unter Umständen ein Ausbau der vorhandenen Straßen für die Schwerlasttransporte erforderlich ist und damit auch ein Eingriff in den Baumbestand des Landschaftsschutzgebietes sowie eine Beeinflussung des Tourismus (z.B. Wanderwege, Loipen, Trekking-Wege) möglich ist.

Ein weiterer Aspekt, der für die Akzeptanzbildung nicht unerheblich sein dürfte, ist die Art und Weise wie das PSWuT an das Stromnetz angeschlossen wird. Die Netzanbindung kann dabei über ein Erdkabel, Freileitung oder eine Kombination aus beiden erfolgen. Da eine Hochspannungsleitung bzw. ein Hochspannungsmast, der direkt an der Weimannsbucht platziert wird, eine erhebliche Veränderung der Umgebung verursacht und damit eine Beeinträchtigung des Denkmalschutzes der Betriebsgebäude des Erzbergwerks Grund nach sich zieht (s. Teilbericht Recht), wird eine Freileitung in direkter Nähe zur Weimannsbucht ausgeschlossen und daher die Erdverkabelung präferiert. Wenn man sich für eine Erdverkabelung entscheidet, die mitunter dreimal so teuer ist wie eine Freileitung, sind auch damit gewisse Eingriffe in das umliegende Landschaftsschutzgebiete verknüpft, deren optische Beeinträchtigungen ins Landschaftsbild nach einiger Zeit verschwinden, während im Vergleich zur Hochspannungsleitung, die Strommasten als unansehnliches Bauwerk verbleiben. Allerdings muss auch bei der Verlegung des Erdkabels berücksichtigt werden, ob umliegende Naturschutzgebiete oder Flora-Fauna-Habitat-Gebiete (FFH-Gebiet) davon tangiert werden (s. Teilbericht Bergbau). Insofern kann auch eine Erdverkabelung eine ablehnende Haltung zur großtechnischen Anlage des PSWuT hervorrufen, wenn bspw. Naturschützer ist höchstes Gut gefährdet sehen. Neben der reinen Erdverkabelung ist auch eine Kombination aus Freileitung und Erdkabel dankbar. In diesem Fall könnte man ein Erdkabel bis zur nächstgelegenen Freileitung verlegen und von dort aus die vorhandene Freileitungstrasse ausbauen. Somit wäre es auch in diesem Fall (s. Teilbe-

richt Bergbau) möglich, Eingriffe in die natürliche Umwelt zu reduzieren und somit die Akzeptanzbildung positiv zu beeinflussen.

Ferner wird für die Risikowahrnehmung und damit für Akzeptanz des PSWuT relevant sein, welche Schäden schlimmsten Falls (Worst-Case-Szenario) zu erwarten sind, wenn Stör- oder Unfällen während des Betriebs auftreten und inwieweit daraus negative Folgen für die unmittelbaren Anrainer resultieren könnten. Derartigen Befürchtungen kann man durch eine gezielte Informationskampagne (Einschätzungen von Experten) entgegen treten bzw. auch auf ein umfassendes Sicherheitssystem verweisen, das den gegenwärtigen Standards für derartige großtechnische Anlagen genügt.

Weitere Gedanken zur Akzeptanz könnten sich auf die Zeit nach der Stilllegung des PSWuT beziehen. In diesem Zusammenhang stellt sich mitunter die Frage, welche Maßnahmen für eine entsprechende Nachsicherung der untertägigen Anlagen getroffen werden müssen. Der Rückbau der gesamten maschinentechnischen Ausrüstung, die Verfüllung von Hohlräumen (auch in 700 m Tiefe) oder die Flutung des Stollensystems sind sicherlich nur einige Maßnahmen die hier zu nennen sind. Befürchtungen und Ängste, die sich aus diesem Kontext ergeben könnten, kann man mit entsprechenden Aufklärungskampagnen zur Pumpspeichertechnologie unter Tage entkräften.

Bei der Konzeptionierung des Modellbergwerks Grund sollte man von vornherein versuchen, Interdependenzen mit konkurrierenden Gütern wie den Wasserschutzgebieten weitestgehend zu vermeiden. Damit hat man Kriterien in die Planung aufgenommen, aus dem andernfalls potentielle Ansatzpunkte für Akzeptanzkonflikte erwachsen könnten. Andere Faktoren, wie z. B. der Denkmalschutz oder die Eingriffe in das Landschaftsschutzgebiet durch die Baumaßnahmen, die möglicherweise einen Einfluss auf die Akzeptanzbildung haben, können zu diesem Zeitpunkt zwar qualitativ benannt werden, aber ihre Quantifizierung und Wichtung für den Akzeptanzprozess kann erst im Zuge konkreter Planungen für die Realisierung des PSWuT vorgenommen werden.

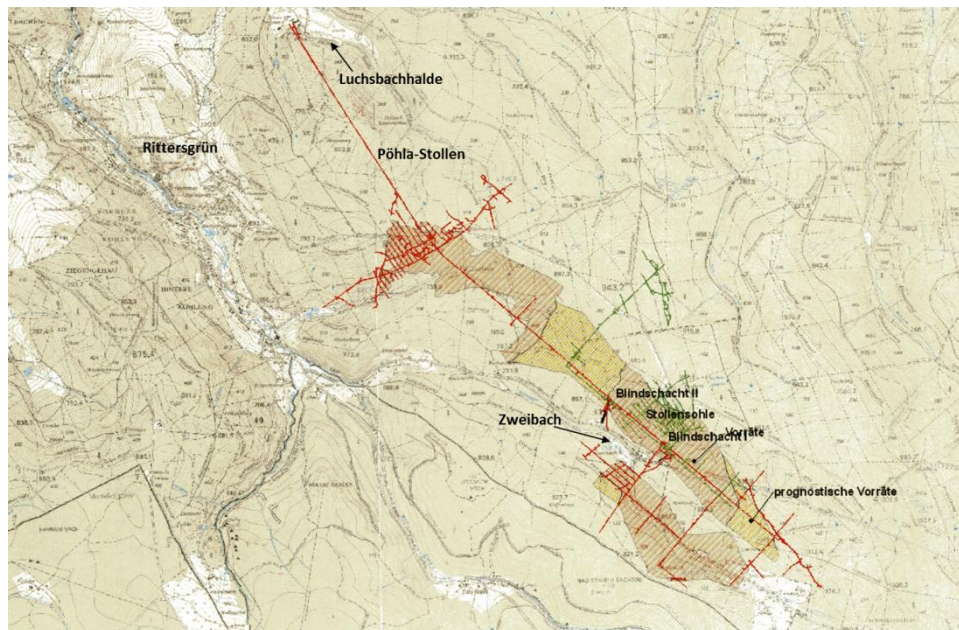
## **9. Modellbergwerk Pöhla**

Für das zweite Modellbergwerk wurde das Stollensystem des ehemaligen Erzbergwerks Pöhla im westlichen Erzgebirge (Erzgebirgskreis) ausgewählt. Zur Komplexlagerstätte Pöhla (s. Teilbericht OECOS), die sich südlich der Ortschaften Pöhla und Rittersgrün und unweit zur tschechischen Grenze in einem walddreichen Gebiet befindet, gehören die Teillagerstätten Pöhla-Globenstein, Hämmerlein sowie Tellerhäuser. In den 1960er Jahren

wurden durch bergmännische Erkundungsarbeiten der SDAG Wismut im Gebiet Hämmerlein und Tellerhäuser radioaktive Anomalien sowie in einigen Bohrungen Zinnvererzungen festgestellt. Daher hat man 1967 vom Luchsbachtal aus am Rande von Pöhla mit der Auffahrung eines Stollens (Pöhla-Stollen: Hauptstollen des Erzbergwerks) in Richtung Hämmerlein und Tellerhäuser begonnen. Dieser Stollen erreichte eine Gesamtlänge von ca. 8 km, wobei bei etwa 3 km Stollenlänge die Teillagerstätte Hämmerlein aufgeschlossen wurde. Diese dient heutzutage als Touristenattraktion und wird über die Grubenbahn des Besucherbergwerks „Zinnkammern“ angefahren. Die Teillagerstätte Tellerhäuser im hinteren Bereich des Stollens wurde über 2 Blindschächte, 6 Hauptsohlen, 7 Nebensohlen und einem halben Dutzend Wetterüberhaun aus- und vorgerichtet (s. Teilbericht Bergbau). Im Jahr 1983 wurde die planmäßige Urangewinnung in Tellerhäuser aufgenommen und Ende 1990 wieder eingestellt. In dieser Zeit wurden ca. 1200 t Uran produziert. Die Wismut GmbH wies im Juli 1991 restliche Gesamtvorräte von ca. 3.747 t Uran aus [CW99].

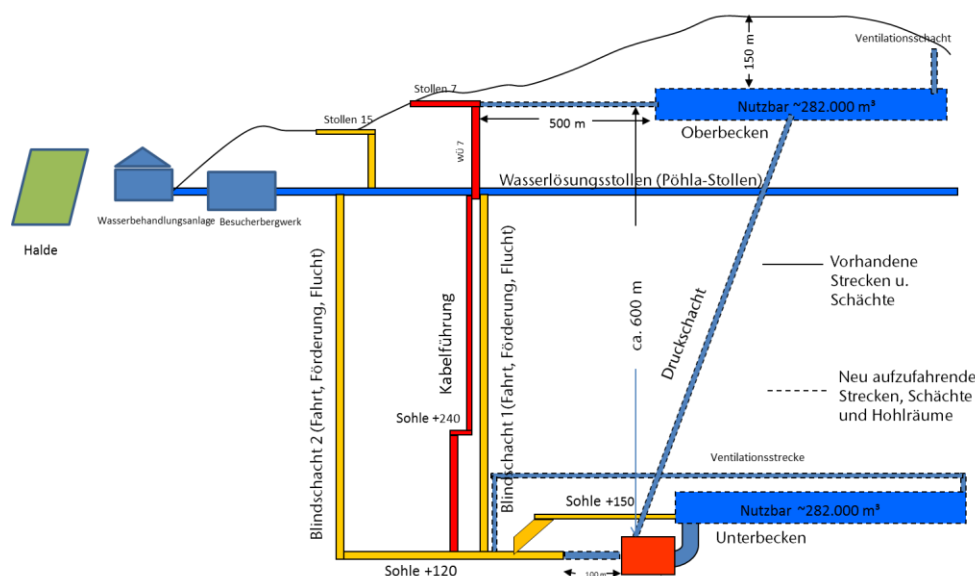
Während der Betriebszeit unterhielt das Bergwerk neben den Grubengebäuden etliche Betriebsgebäude, Förderanlagen und Halden. Eine der größten Halden in der Nähe des Pöhla-Stollens ist die Luchsbachhalde mit ca. 26 ha Fläche, die von der Wismut GmbH saniert wurde [CW99]. Wie bei der Konzeptionierung des Modellbergwerks Grund, geht man auch hier davon aus, dass ca. 1 Mio. m<sup>3</sup> Abraummateriale bei der Errichtung des untertägigen Pumpspeicherwerks mit einer Volllastzeit von 4 Stunden anfallen werden. Diese sollen nach dem derzeitigen Stand der Planung (s. Teilbericht Bergbau) vollständig auf der Luchsbachhalde gelagert werden. Die Lage der Luchsbachhalde, des Pöhla-Stollens als auch der Blindschächte, die in das PSWuT-Projekt integriert werden sollen, ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Des Weiteren sind durch die schraffierten Flächen in der Abbildung 34 die bilanzierten Lagerstätten (z. B. Uran, Zinn) der Wismut GmbH aufgeführt, die durch den Bau des PSWuT nicht tangiert werden dürfen.





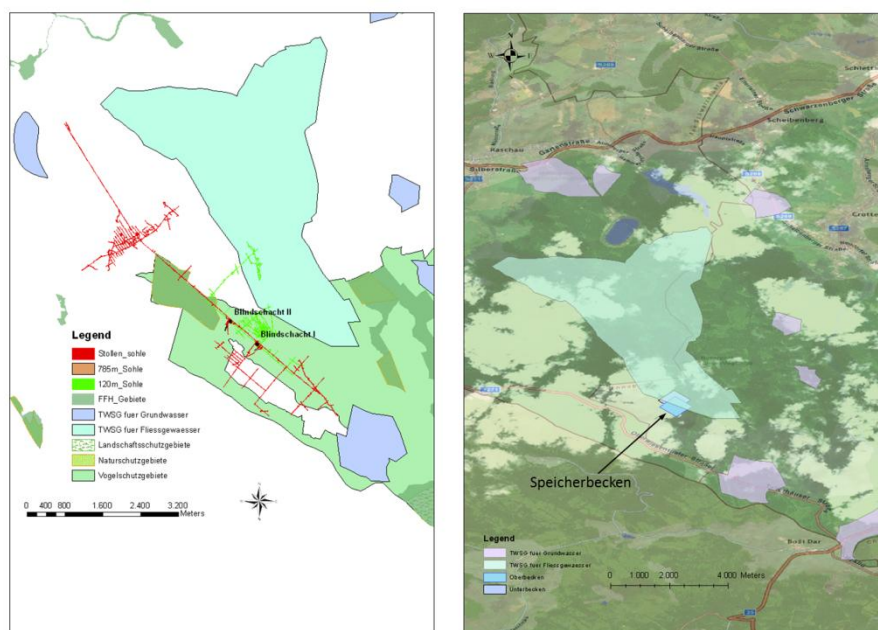
**Abbildung 34** Lage des Stollensystems und der Luchsbachhalde am Standort des Modellbergwerks Pöhla (Gorczyk, IGMG, 21.01.2011)

Unweit der kleinen Ortschaft Zweibach befinden sich die Blindschächte sowie die Mundlöcher der Stollen, die für das PSWuT genutzt werden sollen. Die folgende Abbildung gibt einen Einblick, wie der Hauptstollen des ehemaligen Erzbergwerks Pöhla, die vorhandenen Wetterüberhaun des Stollensystems sowie die geplanten technischen Anlagen in die Konzeption des untertägigen Pumpspeicherwerks Eingang finden sollen.



**Abbildung 35** Prinzipiskizze des Modellbergwerks Pöhla mit vier Stunden Betriebszeit (Jarrah, IBB, 04.03.2011)

Das Modellbergwerk Pöhla befindet sich in einem Areal, das von Naturschutz-, Vogel-  
schutz- und Wasserschutzgebieten umgeben ist. Unter Berücksichtigung der geologischen  
Gegebenheiten sowie der prognostizierten Vorräte (s. Teilbericht Bergbau) hat man es  
nach dem bisherigen Erkenntnisstand nicht vermeiden können, dass sich die Speicherbe-  
cken des PSWuT (s. Abbildung 36) zum Teil im angrenzenden Wasserschutzgebiet für  
Fließgewässer befinden. Dies ist nicht nur aus Sicht der Akzeptanzanalyse kritisch zu be-  
werten, sondern auch vom Genehmigungsrecht (s. Teilbericht Recht) und der Bewertung  
ökologischer Auswirkungen (s. Teilbericht OECOS). Selbst wenn man das Gesamtvolu-  
men Speicherbecken für ein PSWuT mit 2 Volllaststunden um die Hälfte reduziert, tan-  
giert man immer noch das Wasserschutzgebiet mit dem unteren Speicherbecken (s. Teil-  
bericht Bergbau). Alleine aus diesem Sachverhalt heraus könnte das PSWuT bei den An-  
rainern als NIMBY-Projekt wahrgenommen werden, sodass lokaler Widerstand nicht aus-  
geschlossen ist. Sollten darüber hinaus durch die umfangreichen untertägigen Baumaß-  
nahmen Interdependenzen (Verunreinigungen der oberflächennahen Gewässer) mit den  
umliegenden Wasserschutzgebieten zu befürchten sein (s. Teilbericht OECOS), können  
alleine aus diesem Aspekt schwerwiegende Akzeptanzprobleme resultieren.



**Abbildung 36** Schutzgebiete im Areal des Modellbergwerks sowie die Lage der Speicherbecken  
des PSWuT (Furui, IGMG, 02.03.2011)

Weitere Aspekte, die für die Akzeptanz des PSWuT-Projekts Relevanz haben dürfte, sind  
die Art und Weise wie die ca. 1 Mio. m<sup>3</sup> Abraum (ca. 345.000 m<sup>3</sup> Abraum pro Speicherbe-



cken) auf die Luchsbachhalde transportiert werden sollen sowie die Eigenschaften bzw. die mögliche Belastung (z. B. Uran, Radon) des Aushubmaterials (s. Teilbericht OECOS). Nach den bisherigen Überlegungen ist es zum einen denkbar, das Abraummateriale des oberen Speicherbeckens und der Zuwege über den Stollen 7 (bei Zweibach) noch oben zu transportieren, von dort aus auf LKWs zu verladen und über die angrenzende Straße S271 über Rittersgrün (s. Abbildung 34) und weiter Richtung Pöhla ca. 12 km zur Luchsbachhalde zu transportieren. Zum anderen wäre es aber auch denkbar, das Aushubmaterial unterirdisch über den Wetterüberhau WÜ 7 (s. Abbildung 35) zum Pöhla-Stollen und von dort aus vorbei am Besucherbergwerk „Zinnkammern“ zur Luchsbachhalde zu befördern. Aus beiden Alternativen könnten sich Akzeptanzprobleme ergeben. Wählt man bspw. die erste Alternative, so ist die Lärm-, Staub- und Verkehrsbelastung, die mit dem LKW-Verkehr über eine Bauzeit von ca. 4-5 Jahren einhergeht und mehrere angrenzende Ortschaften betreffen kann, nicht zu unterschätzen. Analog zur Modellbergwerk Grund kann man auch hier für eine erste Einschätzung der Verkehrsbelastung eine einfache Überschlagsrechnung anstellen. Angenommen man transportiert ca. 500.000 m<sup>3</sup> Abraummateriale über den Stollen 7 und verlädt diesen auf LKWs, die ein Fassungsvermögen von etwa 20 m<sup>3</sup> haben, dann würden über einen Zeitraum von 4 Jahren mit jeweils 280 Arbeitstagen ca. 22 Fahrten pro Tag zuzügliche Rückfahrten entstehen. Müsste man bspw. aufgrund der Straßenlage LKWs einsetzen, die weniger Fassungsvermögen haben, würden die Fahrten pro Tag nach dieser einfachen Berechnung entsprechend ansteigen. Darüber hinaus ist der LKW-Verkehr, der mit der Anlieferung von Baumaterialien, Maschinenteilen etc. im Laufe der Bauzeit verbunden ist, nicht zu unterschätzen. Ob und wenn ja, in welchem Umfang aus der angesprochenen Verkehrsbelastung z. B. eine Wertminderung der Grundstücke und/oder der Immobilien der Anrainer resultiert oder sogar eine Beeinflussung der touristischen Entwicklung der Region über die Zeit zu befürchten ist, kann derzeit nicht quantifiziert werden. Sollte man sich hingegen für den unterirdischen Abtransport des Abraums entscheiden, hat dies zwangsweise eine konkurrierende Nutzung des Pöhla-Stollens mit dem Besucherbergwerk „Zinnkammern“ vom Stollenmundloch bis zur Teillagerstätte Hämmerlein (Zinnkammern) auf einer Länge von ca. 3 km zur Folge. Dies gilt in gleicher Weise für den Abtransport des Aushubmaterials über das vorhandene Stollenssystem, das durch die Auffahrung der zusätzlich benötigten Schächte, der Maschinenkaverne und des unteren Speicherbeckens anfällt (s. Abbildung 35). Möglichen Protesten von den Betreibern des Besucherbergwerks als auch von den Anrainern, die ihre Touristenattraktion gefährdet sehen, könnte man in diesem Punkt entgegenstehen, in dem man

bspw. den Pöhla-Stollen derart ausbaut, dass eine Beeinträchtigung des Besucherbergwerks durch die Baumaßnahmen des PSWuT vermieden wird oder, sollte dies nicht möglich sein und sogar eine Schließung des Besucherbergwerks während der Bauzeit drohen, könnte man gegebenenfalls eine entsprechende Entschädigung für entgangene Einnahmen anbieten. Da diese zum derzeitigen Stand der Konzeptionierung nicht quantifizierbar sind, ist es schwierig bzw. unmöglich diese in angebrachter Form in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des PSWuT-Projektes zu berücksichtigen.

Der Abtransport des Aushubmaterials oder die Wiederbelebung der Luchsbachhalde, die aufwendig durch die Wismut GmbH saniert wurde, sind nur einige Ansatzpunkte an denen sich Skepsis und Kritik entzünden können. Weitaus problematischer aus Sicht der Akzeptanzanalyse ist der Sachverhalt zu bewerten, dass durch die umfangreichen bergbaulichen Tätigkeiten als auch durch die oberirdischen Tiefbauarbeiten (z. B. Errichtung neuer Gebäude, Straßen und Leitungen) die Gefahr besteht, abgelagerte Schwermetalle und Radionuklide zu remobilisieren (s. Teilbericht OECOS). Die Auffahrung der unterirdischen Grubengebäude als auch der zusätzlichen Schächte ist zwar außerhalb der prognostizierten Vorräte vorgesehen, da aber Pöhla als Komplexlagerstätte angesehen wird, aus der bereits in der Vergangenheit hochtoxische Stoffe gefördert wurden (s. Teilbericht OECOS), ist es möglich, dass sowohl das geförderte Aushubmaterial als auch das Flutungswasser mit Schwermetallen (Radium, Uran und Arsen) belastet sind. Sollte man nach der bisherigen Konzeptionierung daran festhalten, zur Befüllung der Speicherbecken das Sümpfwasser zu verwenden (s. Teilbericht Bergbau), dann müsste man dieses im Zuge eines aufwendigen und kostenintensiven Verfahrens in entsprechenden Wasseraufbereitungsanlagen reinigen und dekontaminieren. Darüber hinaus ist in diesem Zusammenhang zu klären, wohin die anfallenden radioaktiven Rückstände der Gewässerreinigung verbracht werden dürfen (s. Teilbericht OECOS). Ferner würde sich im Falle einer radioaktiven Belastung des Abraums die Frage stellen, ob und auf welche Art und Weise dieses Material über LKWs durch mehrere angrenzende Ortschaften auf die Luchsbachhalde transportiert werden kann.

In Zeiten, in denen die Öffentlichkeit für das Thema Radioaktivität (Lagerung von radioaktiven Rückständen) höchst sensibilisiert ist, aufgrund von Umweltkatastrophen, die sich auf der anderen Seite des Globus am havarierten Atomkraftwerk Fukushima in Japan ereignen sowie durch umweltpolitische Debatten, in denen die Sicherheit deutscher Atomkraftwerken in Frage gestellt wird, sind Bedenken und Skepsis im Hinblick auf die

Wiederbelegung eines ehemaligen Uranbergwerks wahrscheinlich. Wenn man darüber hinaus in einem solchen Kontext, Maßnahmen thematisiert, wie die Wasseraufbereitung von uranbelasteten Wassers oder die Mobilisierung von toxischen Stoffen und Gasen, die im Laufe der Bauarbeiten möglicherweise unumgänglich sind, werden Ängste und Bedenken der umliegenden Anrainer nicht ohne weiteres zu entkräften sein. Hinzukommt, dass man zum derzeitigen Stand der Planung nicht absehen kann, inwieweit Erschütterungen durch tiefliegende Bohrungen und Sprengungen über eine Bauzeit von 4-5 Jahren einen Einfluss auf die Gesteinsfestigkeit sowie auf die umliegenden prognostizierten Lagerstätten haben werden. Analog zum Modellbergwerk Grund, muss auch hier darauf hingewiesen werden, dass die Gesteinsfestigkeit durch die Bewegung der Wassermassen, die typischerweise mit einem Pumpspeicherwerk verbunden sind, beeinflusst werden kann. Durch entsprechende Ausbaumaßnahmen kann man allerdings diesen Effekten entgegenwirken und somit auch diesbezüglichen potentiellen Akzeptanzproblemen entgegen treten.

Nicht nur aus den unterirdischen Baumaßnahmen können sich Akzeptanzrisiken ergeben, sondern auch die Errichtung der übertägigen Anlagen sowie die Netzanbindung zur Inbetriebnahme des PSWuT in der Nähe des Stollens 7 (s. Abbildung 35) könnten mit Akzeptanzproblemen behaftet sein. Wie aus Abbildung 36 hervorgeht, liegt die Anschlussstelle für die Netzanbindung sowie das Areal für die benötigten Betriebsgebäude und Straßenanbindungen im umliegenden Vogelschutzgebiet. Sollten die Anrainer die angrenzenden Schutzgebiete durch den Bau der Gebäude oder Straßen gefährdet sehen, sind Proteste denkbar. Des Weiteren ist aufgrund des Vogelschutzgebietes die Netzanbindung über eine Freileitungstrasse bis zum nächst gelegenen Umspannwerk nicht denkbar (s. Teilberichte Bergbau, Recht und OECOS). Daher wird für den Netzanschluss des Modellbergwerks Pöhla eine Kabeltrasse bzw. eine Kombination aus Kabel- und Freileitungstrasse vorgesehen (s. Teilbericht Bergbau). Somit können Eingriffe in die Natur reduziert und die Akzeptanzbildung in diesem Punkt positiv beeinflusst werden.

Die angesprochenen Akzeptanzrisiken resultieren vor allem aus den vielschichtigen Charakteristiken der Komplexlagerstätte Pöhla, die nach der Aufgabe der Bergwerkstätigkeit 1991 zum Teil geflutet und umfangreich durch die Wismut GmbH saniert wurde. Die Sanierungsarbeiten umfassten unter anderem die Sicherung der Schächte und Grubengebäude, die Dekontaminierung und Rückbau der Betriebsanlagen, die Behandlung des Flutungswassers, die Sanierung der Halden sowie die weitestgehende Demobilisierung der

mit dem Uranabbau verknüpften toxischen und radioaktiven Böden, Stäuben, Gasen und Abwässern (s. Teilbericht OECOS) [CW99]. Vor diesem Hintergrund ist eine Wiederbelebung des ehemaligen Uranbergwerks in Form des geplanten Pumpspeicherwerks unter Tage hinsichtlich der Akzeptanzbildung in der Bevölkerung skeptisch zu bewerten. Allerdings, wenn durch die Baumaßnahmen des PSWuT die Gefahr besteht, dass toxische Schwermetalle und Radionuklide (z. B. Uran, Radium, Radon, Arsen) mobilisiert werden und damit mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen für die Betriebsmitarbeiter, die nahe gelegenen Einrichtungen (Besucherbergwerk) sowie eine interdependente Beeinträchtigung mit dem umliegenden Wasserschutzgebieten nicht auszuschließen sind (s. Teilbericht OECOS), wird sich gegen das PSWuT, das unter den gegebenen Umständen wahrscheinlich als NIMBY-Projekt wahrgenommen wird, lokaler Widerstand regen.

## **10. Zusammenfassung und Ausblick**

Um zukünftig die Integration der Windenergie sicherzustellen, sind Stromspeicher notwendig. Dabei formuliert es die Deutsche Energie-Agentur, dass „Speicherkapazitäten eher heute als morgen“ benötigt werden, sehr eindeutig [Str10].

Im Vergleich der verfügbaren sowie noch in Entwicklung befindlichen Technologien zeigt sich das „konventionelle“ Pumpspeicherwerk als effiziente und wirtschaftlichste Option, um einen Beitrag zum Ausgleich der Fluktuation im Dargebot des Windes zu liefern. Die Stand-der-Technik-Variante weist in Deutschland allerdings ein begrenztes Ausbaupotenzial auf. Die Kostenanalyse des vorgestellten Konzeptes eines untertägigen Pumpspeicherwerks in stillgelegten Bergwerken macht deutlich, dass im Vergleich zu konventionellen Pumpspeicherwerken höhere Energiedurchsatzkosten anfallen. Die Identifizierung und Analyse der Erlösmöglichkeiten zeigt, dass deutliche Unterschiede in den Vermarktungsmöglichkeiten bestehen. Zumindest unter den gewählten Randbedingungen muss es schwierig eingeschätzt werden, dass sich ein PSWuT in der derzeitigen Anlagenkonfiguration in der heutigen Zeit eigenständig wirtschaftlich trägt. Die Betrachtung von weiteren Szenarien durch z.B. die Möglichkeit ein Oberbecken über Tage zu errichten schließen auf Kostensenkungsmöglichkeiten. Die aus der ökonomischen Betrachtung abgeleiteten Optimierungspotenziale hinsichtlich der Anlagenkonfiguration sind umzusetzen, bevor weitere Bewertungen erfolgen. Zudem kann auch die Analyse weiterer Standorte Erkenntnisse über das tatsächliche Realisierungspotenzial bringen. Dabei sind

bergwerksindividuelle Einflussfaktoren auf die Kosten und die optimierte Auslegung des Kraftwerks zu berücksichtigen.

Einen weiteren Schwerpunkt der Untersuchung bildet der Bereich der Technikakzeptanz. Im Rahmen der Akzeptanzforschung versucht man auf Basis von gegenwärtigen Einstellungen der Individuen auf zukünftige Verhaltensweisen zu schließen. Dabei wird die Akzeptanz nicht als passive Duldung von Veränderungen der physischen Umwelt interpretiert, sondern vielmehr als positive Aufnahme und bewusste Auseinandersetzung mit dem Gegenstand der Veränderung bzw. mit dem technischen Wandel in Bezug auf die Untersuchungen zur Technikakzeptanz. Somit fließen in die Akzeptanzforschung auch Wahrnehmungs- und Bewertungsprozesse der Individuen oder sozialer Gruppen ein.

Für eine differenziertere Charakterisierung der Technikakzeptanz wurden verschiedene Technikbereiche betrachtet. Dabei hat sich herausgestellt, dass vor allem im Bereich der externen Techniken (großtechnische Anlagen) die Akzeptanz in der Bevölkerung nicht mehr als gegeben vorausgesetzt werden kann bzw. derartige Anlagen in zunehmende Legitimationsschwierigkeiten geraten. Ängste und Bedenken gegenüber externen Techniken erwachen vor allem aus den fehlenden Möglichkeiten der Anrainer sich an der Gestaltung ihrer physischen Umgebung maßgeblich zu beteiligen sowie aus dem Misstrauen in Wirtschaft, Politik und Genehmigungsbehörden, dass von derartigen Anlagen auch wirklich keine Gefährdungen für die Umwelt oder der Gesundheit ausgehen. Allerdings ist die Beteiligung der Bürger am Gesamtsystem der Entscheidungsfindung (für eine Standortgemeinde) nicht als Allheilmittel zur Lösung des Problems anzusehen. Durch die Mitbestimmung der Bürger am Entscheidungsprozess können nicht alle Zielkonflikte oder Interessengegensätze aufgelöst werden. Darüber hinaus ist die Volksmeinung keineswegs einheitlich, da sich auch die Bürger in unterschiedliche Interessengemeinschaften (Befürworter und Gegner) aufteilen. Man wird daher auch nach Einführung der Partizipation von Bürgern nicht umhin können, gewisse Konflikte zwischen den einzelnen Interessengruppen zugunsten der einen oder anderen Seite durch politische Entscheidungen zu lösen. Die Akzeptanz für sogenannte externe Techniken wird immer mehr davon abhängen, inwieweit man in der Zukunft Technologieproteste als Herausforderung und Chance ansieht und nicht als eine lästige Begleiterscheinung des notwendigen technologischen Wandels begreift.

Die gesellschaftliche Akzeptanz von externen Techniken bzw. von Energietechnologien wird insbesondere von der subjektiven Risikowahrnehmung der Individuen als auch von

den Interdependenzen zu sog. konkurrierenden Gütern, wie bspw. der Umwelt, der menschlichen Gesundheit oder Denkmälern, beeinflusst. Für die subjektive (intuitive) Risikowahrnehmung spielen unter anderen die affektiven, emotionalen Prozesse eine wichtige Rolle, da diese wesentlich die subjektive wahrgenommene Gefühlslage beeinflussen. Wird eine Risikoquelle mit negativen Gefühlen in Verbindung gebracht, ist das „gefühlte“ Risiko stark ausgeprägt. In diesen Zusammenhang gewinnt der emotionale Kontext der Informationsvermittlung bzw. die „Story“ in der über mögliche Risiken berichtet wird, für die Risikobeurteilung an Bedeutung. Je nachdem, ob der Kontext, in dem die Information präsentiert wird, eher Empörung oder Nachsichtigkeit hervorruft, kann die Risikoeinschätzung höher oder niedriger sein. Insofern ist für die Akzeptanz von Energietechnologien zum einen entscheidend, über welche Medien und mit welcher Kommunikationsstrategie das Projekt in die Öffentlichkeit vorgestellt wird, und zum anderen der gewählte Kontext der Informationsvermittlung. In Bezug auf ein Pumpspeicherwerk unter Tage wird die Akzeptanz für eine derartige Technologie im Zusammenhang mit der Integration und dem Ausbau von erneuerbaren Energien, dem Ausgleich von Stromschwankungen in der Stromversorgung sowie der Verbesserung der technischen Versorgungssicherheit sicherlich größer sein, als wenn man den Vergleich zu anderen Speichertechnologien zieht. Darüber hinaus können Technologien mit zentralem Charakter, zu denen auch das Pumpspeicherwerk unter Tage zählt, ein anderes Profil entwickeln sowie eine andere Wahrnehmung in der Bevölkerung hervorrufen als Technologien, die sich über mehrere Regionen erstrecken. Insofern ist der sog. NIMBY-Effekt für die Akzeptanz eines PSWuT nicht zu unterschätzen. Wird das PSWuT in der gewählten Standortgemeinde als NIMBY – Projekt wahrgenommen, ist es nur schwer möglich nachträgliche mit entsprechenden Informationsoffensiven oder PR-Maßnahmen dagegen anzusteuern.

Die Charakterisierung der möglichen Akzeptanzprobleme in Bezug auf die Modellbergwerke Grund und Pöhla hat deutlich gemacht, dass die Akzeptanzrisiken vor allem aus den interdependenten Beziehungen mit den sog. konkurrierenden Gütern, wie den Wasserschutzgebieten, dem Denkmalschutz, den physischen Beeinträchtigungen der Umwelt durch die Baumaßnahmen oder dem Schutzgut Mensch erwachsen. Die Standorte Bad Grund und Pöhla weisen sehr komplexe Charakteristika auf, sodass aus den Einzelfallbetrachtungen zu den potentiellen Akzeptanzfragen keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden können. Hinzukommt, dass die möglichen Einflussfaktoren der Akzeptanzbildung zum derzeitigen Stand der Studie zwar qualitativ benannt werden können,



aber deren Quantifizierung und Wichtung für den tatsächlichen Akzeptanzprozess in der Bevölkerung kann erst im Zuge der Realisierung des Pumpspeicherwerks unter Tage vorgenommen werden.

Angesichts der rudimentären Datenlage zur Akzeptanz eines Pumpspeicherwerks unter Tage, sollte in einem nächsten Schritt für die Standorte Bad Grund und Pöhla eine quantitative Akzeptanzanalyse z. B. über eine Befragung der Anrainer erfolgen. Über diesen Weg bekommt man zumindest einen ersten Eindruck, welcher Kenntnisstand in der Bevölkerung zur Pumpspeichertechnologie unter Tage vorhanden ist, welche Meinungsbildung eventuell schon stattgefunden hat, welche Vorbehalte und Ängste in Bezug auf ein PSWuT existieren und welche (möglichen) Risiken aus Sicht des Laien als wirklich „schlimm“ eingeordnet werden. Somit erhält man einige Anhaltspunkte für eine zielgerichtete Informationspolitik, um schon im Vorfeld Skepsis und Bedenken weitestgehend entkräften zu können.

Weitere Fragen zur Akzeptanzbetrachtung können aus dem Sachverhalt resultieren, dass man das obere Speicherbecken des Pumpspeicherwerks über Tage errichtet und somit eine Kombination aus über- und untertägigen Speicherbecken in einer Hybridlösung vereint. In diesem Fall könnte ein Teil der aufwendigen und zum Teil sehr kostenintensiven unterirdischen Baumaßnahmen eingespart werden. Wenn man darüber hinaus vorhandene Seen oder Teiche für das Pumpspeicherwerk nutzen kann, wäre dies in Hinblick auf die Projektkosten und die Akzeptanzbildung eine elegante Lösung. Allerdings ist der Neubau eines Speicherbeckens über Tage mit nicht unerheblichen Eingriffen in das Landschaftsbild verbunden, sodass man sich die Frage stellen muss, ob die möglichen Kostenersparnisse, die aus der Hybridlösung resultieren, die zu erwartenden Probleme (z. B. Proteste von Naturschutzverbänden) mit den Anrainern rechtfertigen. Durch die Hybridlösung beraubt man sich zumindest selbst der erheblichen Vorteile, die ein PSWuT in Bezug auf einen möglichst geringen Oberflächenverbrauch mit sich bringt. In Hinblick auf die Standorte Bad Grund und Pöhla ist die Hybridlösung aus Akzeptanzsicht eher problematisch. Zum einen sind keine Gewässer in unmittelbarer Nähe vorhanden, die man für das Pumpspeicherwerk nutzen kann und zum anderen sind beide Modellbergwerke von Schutzgebieten umgeben, sodass alleine aus diesen Gesichtspunkten der Eindruck eines NIMBY-Projektes erwachsen kann, gegen das lokaler Widerstand nicht ausgeschlossen ist.



## Literatur und Quellen

- [ABL08] Auszug aus dem Beschluss der Landesregierung Nr. 3162 vom 01.09.2008. [http://pskw.ritten.net/blog/wp-content/uploads/2009/06/auszug\\_beschluss\\_landesregierung\\_nr\\_3162\\_01-09-2008.pdf](http://pskw.ritten.net/blog/wp-content/uploads/2009/06/auszug_beschluss_landesregierung_nr_3162_01-09-2008.pdf). – Aktualisierungsdatum: 07.03.2011
- [Axp06] Axpo Gruppe: Zukunft Wasserkraft – Linthal 2015. [Online]. Abruf am 05. März 2010 auf [http://www.axpo.ch/content/axpo/de/hydroenergie/wissen/kraftwerksprojekte/ausbauprojekte\\_linthlimmern/bauliche\\_veraenderungh/\\_jcr\\_content/content/downloaditem.pdf?download](http://www.axpo.ch/content/axpo/de/hydroenergie/wissen/kraftwerksprojekte/ausbauprojekte_linthlimmern/bauliche_veraenderungh/_jcr_content/content/downloaditem.pdf?download).
- [BCG11] Pieper, Cornelius; Rubel, Holger: Revisiting Energy Storage. Frankfurt am Main, The Boston Consulting Group, 2011.
- [BMU10] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Energiekonzept der Bundesregierung. Berlin, Bundesumweltministerium, 2010.
- [BMW07] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): WISMUT Neue Landschaften – Neue Perspektiven. Berlin, BMWi, 2007.
- [BNA10] Bundesnetzagentur: Eckpunktepapier zu den Festlegungsverfahren Regelenergie BK6-10-097/098/099. Bonn, Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2010.
- [Buc09] Buch, Christian: Vorratskammern für Strom. Berlin, Siemens Pictures of the Future, 2009.
- [BWD09] Berthold; Wolf; Dötsch: Speicherstrategien für Stromversorgungsnetze. [Online] 2009, Energie 2.0 Kompendium 2009. Abruf am 16. Februar 2010 auf <http://www.energy20.net>.
- [CW99] Chronik der Wismut. CD-ROM. Wismut GmbH, 1999.
- [Dei11] Deilmann-Haniel Shaft Sinking: Verbale Auskunft vom 19. April 2011.
- [Den08] Deutsche Energie-Agentur GmbH: Elektrizitätswirtschaftliche und energiepolitische Auswirkungen der Erhebung von Netznutzungsentgelten für den Speicherstrombezug von Pumpspeicherkraftwerken. Berlin, Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2008.
- [Den10/1] Deutsche Energie-Agentur GmbH: Analyse der Notwendigkeit des Ausbaus von Pumpspeicherkraftwerken und anderen Stromspeichern zur Integration der erneuerbaren Energien. Berlin, Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2010.
- [Den10/2] Deutsche Energie-Agentur GmbH: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2020 mit Ausblick 2025. Berlin, Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2010.
- [EEX/1] European Energy Exchange AG (EEX). [Online]. <http://www.eex.com>.

- [EEX/2] EEX, Transparency in Energy Markets: Freiwillige Selbstverpflichtung der Marktteilnehmer. [Online] 2010. Abruf am 17. Februar 2010 auf <http://www.transparency.eex.com/de/>.
- [Ehl11] Ehlers, Niels: Strommarktdesign angesichts des Ausbaus fluktuierender Stromerzeugung. Berlin, Dissertation an der TU Berlin, 2011.
- [End86] Endruweit, Günter: Sozialverträglichkeits- und Akzeptanzforschung als methodologisches Problem. In: Jungermann, Helmut u.a. (Hrsg.): Die Analyse der Sozialverträglichkeit für Technologiepolitik: Perspektiven u. Interpretationen. München : High Tech Verlag, 1986, S. 80-91.
- [ETG09] Energietechnische Gesellschaft im VDE: Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger – Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf. Frankfurt, Energietechnische Gesellschaft im VDE, 2009.
- [Evo11] Evonik: Die größte Lithium-Keramik-Batterie der Welt. [Online]. Abruf am 02. März 2011 auf <http://corporate.evonik.de/de/content/product-news/Pages/wind-und-sonne-speichern.aspx>.
- [Fis08/2] Fishedick, Manfred et al.: Gesellschaftliche Akzeptanz von CO<sub>2</sub>-Abscheidung und –Speicherung in Deutschland. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Nr. 11, 2008, S. 20-23.
- [Fis08] Fishedick, Manfred; Cremer, Clemens et al.: Sozioökonomische Begleitforschung zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Carbon Capture and Storage (CCS) auf nationaler und internationaler Ebene: Gemeinschaftsprojekt des Wuppertal Instituts, des Forschungszentrum Jülich (STE), dem Fraunhofer Institut (ISI) und der BSR Sustainability GmbH. Wuppertal [u.a.], 2008.
- [Fre97] Frey, Bruno: Unerwünschte Projekte, Kompensation und Akzeptanz. In: Analyse & Kritik Zeitschrift für Sozialtheorie, Band 19, 1997, S. 3-14.
- [Gie09] Giesecke, Jürgen: Wasserkraftanlagen. Heidelberg, Springer-Verlag, 2009, 5., aktualisierte und erweiterte Auflage.
- [Har10] HARZWASSERWERKE: Oberharzer Wasserregal. <http://www.harzwasserwerke.de/index2.html?ohwr.html~haupt>. – Aktualisierungsdatum: 14.04.2011
- [HAZ11] Wasserversorger kritisiert Pläne für Speicherkraftwerk. In: Hannoversche Allgemeine Zeitung, Nr. 72 vom 26.03.2011, S. 5.
- [IWE10] Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik: Energiewirtschaftliche Bewertung von Pumpspeicherwerken und anderen Speichern im zukünftigen Stromversorgungssystem. Kassel, Fraunhofer Institut, 2010.
- [Kel10] Kelag: Verbale Auskunft vom 03. Februar 2010.
- [Kep09] Keppler, Dorothee; Walk, Heike; Töpfer, Eric; Dienel, Hans-Liudger (Hrsg.): Erneuerbare Energien ausbauen. München: Oekom Verlag, 2009.
- [Klo07] Klobasa, Marian: Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten. Zürich, Diss ETH Nr. 17324, 2007.

- [Kon09] Konstantin, Panos: Praxisbuch Energiewirtschaft. Heidelberg, Springer-Verlag, 2009 (2. bearbeitete und aktualisierte Auflage).
- [Lam11] Lampe, Wolfgang (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, LBEG): Auskunft vom 28. Januar 2011.
- [Lay10] Laymeyer International: Verbale Auskunft vom 10. Februar 2010.
- [Lim10] Provincie Limburg: Interim rapport Stichting O-PAC. Maastricht, provincie limburg, 2010.
- [Mue10] Müller, Thomas: Virtuelles Regelenergiekraftwerk. Frankfurt am Main, Mainova EnergieDienste, 2010.
- [ORF06] Kaernten ORF.at: Grünes Licht für Kraftwerk Feldsee. [Online]. Abruf am 02. März 2010 auf <http://kaernten.orf.at/stories/118043/>.
- [PWC09] PricewaterhouseCoopers (pwc): Kraftwerksinvestitionen im globalen Wettbewerb. [Online] 2009. Abruf am 02. März 2010 auf <http://www.pwc.de/portal/pub/>.
- [Reg11] Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung. [Online]. Abruf am 10. März 2011 auf <http://www.regelleistung.net>.
- [Ren05] Renn, Ortwin: Technikakzeptanz: Lehren und Rückschlüsse der Akzeptanzforschung für die Bewältigung des technischen Wandels. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 3, 2005, S. 29-38.
- [Ren86] Renn, Ortwin: Technik in der gesellschaftlichen Auseinandersetzung – Überblick die Ergebnisse der Akzeptanzforschung. In: Wildenmann, Rudolf (Hrsg.): Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft : Wege zu einem neuen Grundverständnis ; Kongreß der Landesregierung "Zukunftschancen eines Industrielandes", Dezember 1985. Stuttgart : Staatsministerium Baden-Württemberg, 1986, S. 274-283.
- [Ren97] RENN, Ortwin; ZWICK, Michael M.: Risiko- und Technikakzeptanz. Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- [Sau09/1] Sauer, Dirk Uwe: Dezentrale und mobile Speicheranwendungen (Fachtagung „Elektrische Energiespeicher“). Aachen, ISEA, 2009.
- [Sau09/2] Sauer, Dirk Uwe: Modell zur Bewertung von Energiespeichern. Aachen, ISEA, 2009.
- [Sch08] Schluchseewerk AG: Geschäftsbericht 2008. Laufenburg, Schluchseewerk AG, 2008.
- [Sch08] Schmidt, R: „Energie – Zusammenspiel von Wind- und Wasserkraft. Bauingenieur, Band 83, Heft 7-8, Seiten 333-342, Düsseldorf, 2008.
- [Sch11] Schmitz, Rolf: Sonnenkraft – Woher kommt die Schattenkraft? Berlin, BDEW Leitveranstaltung zu den erneuerbaren Energien, 2011.
- [SRU11] Sachverständigenrates für Umweltfragen: Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung. Berlin, Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2011.
- [Sta11] Statkraft: Verbale Auskunft vom 22. März 2011.
- [Str10] Stratmann, Klaus: Energiebranche muss Milliarden in Speicher stecken. [Online] 2010, Handelsblatt. Abruf am 08. Mai 2010 auf

- <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/erneuerbare-energien-energiebranche-muss-milliarden-in-speicher-stecken;2541931>.
- [SVV07] Staudacher, Thomas; von Roon, Serafin; Vogler, Gilbert (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.): Energiespeicher – Stand, Perspektiven und Wirtschaftlichkeit. München, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2007.
- [SWU05] SWU Energie: Pumpspeicherwerk Blautal. [Online] 2005. Abruf am 05. März 2010 auf [http://www.haus-unterm-regenbogen.de/pumpwerk/Praesentation\\_PSW-Blau\\_1506.pdf](http://www.haus-unterm-regenbogen.de/pumpwerk/Praesentation_PSW-Blau_1506.pdf).
- [Ten11] TenneT TSO GmbH: Verbale Auskunft vom 9. Mai 2011.
- [Tus08] Tuschy, Ilja: Druckluftspeicherkraftwerke als Option zur Netzintegration erneuerbarer Energiequellen: Ein Vergleich der Konzepte. Flensburg, FH Flensburg, 2008.
- [Vah11] Vahrenholdt, Fritz: Flexibilisierungsoptionen durch großtechnische Speicher. Berlin, BDEW-Leitveranstaltung Smart Renewables, 2011.
- [Vat11] Vattenfall Europe PowerConsult: Verbale Auskunft vom 17. Mai 2011
- [VDN09] Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW: TransmissionCode 2007 Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber. Berlin, VDN, 2009.
- [Ver08] Verbund Austrian Hydro Power: Pumpspeicherwerk Reißeck II. Wien, Verbund AG, 2008.
- [Vik09/2] Vikoler, Thomas: Bestehendes Unbehagen. In: Die Neue Südtiroler Tageszeitung, Nr. 147 vom 31.07.2009, S. 13.
- [Vik09] Vikoler, Thomas: 1973 Rittner Gegner. In: Die Neue Südtiroler Tageszeitung, Nr. 145 vom 29.07.2009, S. 12.
- [Voi11] Voith Hydro GmbH & Co. KG: Verbale Auskunft vom 10. Mai 2011
- [Vor06] Vorarlberger Illwerke AG: Kopswerk II die Energie-Zukunft unserer Wasserkraft. [Online]. Abruf am 03. März 2010 auf [http://root.riskommunal.net/gemeinde/gaschurn/gemeindeamt/download/Kops\\_Folder\\_2006\\_1.pdf](http://root.riskommunal.net/gemeinde/gaschurn/gemeindeamt/download/Kops_Folder_2006_1.pdf).
- [Wei09] Weißbach, Thomas: Verbesserung des Kraftwerks- und Netzregelverhaltens bezüglich handelsseitiger Fahrplanänderungen. Stuttgart, Dissertation am Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen der Universität Stuttgart, 2009.
- [Wir09] Wirtschaftsblatt: Kelag plant Kraftwerk in Südtirol für 300 Millionen €. [Online] 2009. Abruf am 04. März 2010 auf <http://www.wirtschaftsblatt.at/home/oesterreich/unternehmen/kaernten/366545/index.do>.
- [Wis11/1] Wismut: Die Wasserbehandlungsanlagen der Wismut. [Online]. Abruf am 07. April 2011 auf <http://www.wismut.de/www/redaktoer/index.php/media/show/1917>.
- [Wis11/2] Wismut: Verbale Auskunft vom 17. März 2011.

[Woy10] Woyke, Wolfgang: Fahrzeuge als Energiespeicher. München, Energy 2.0 Ausgabe 03.2010, 2010.





***GLÜCK AUF!***